

**VÄKIREHUN VALKUAIKIPITOISUUDEN TUOTOSVASTE ERI  
LEHMÄRYHMILLÄ JA KARKEAREHUILLA**

Marianna Keränen  
Maisterintutkielma  
Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden laitos  
Kotieläinten  
ravitsemustiede  
2019

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Marianna Keränen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Väkirehun valkuaispitoisuuden tuotosvaste eri lehmäryhmillä ja karkearehuilla			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Elokuu 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 47 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Valkuaisen käytön optimoimiseksi lisävalkuaisruokinta tulisi kohdentaa sille eläinryhmälle, jolla tuotosvaste on suurin. Tällä tavoin saataisiin vähennettyä lypsykarjatilojen taloutta kuormittavia ylimääräisiä typpipanoksia sekä minimoitaisiin valkuaisruokinnasta aiheutuva ympäristön kuormitus. Faktoriaalisessa (2 x 2) kokeessa vertailtavina karkearehuina olivat nurmisäilörehu ja nurmisäilörehu-vehnäaurakokoviljasäilörehuseos. Väkirehuina lehmät saivat joko tavanomaisen (166 g/kg ka) tai matalan (115 g/kg ka) valkuaisason väkirehua. Tutkimuksen tavoitteena oli testata vaikuttavatko karkearehutyypit, lehmien tuotostaso tai laktaatiovaihe valkuaisruokinnasta saatavaan tuotosvasteeseen ja valkuaisen hyväksikäyttöön. Hypoteesit olivat, että 1) kokoviljasäilörehuruokinnalla valkuaislisän tuotosvaste ja typen hyväksikäyttö on parempi kuin nurmisäilörehuruokinnalla, 2) kokoviljasäilörehuruokinnalla maitotuotos on sama kuin nurmisäilörehuruokinnalla sekä 3) valkuaisen tuotosvaste ja samalla valkuaisen hyväksikäyttö on parempi vanhempien lehmien keskilaktaatiossa verrattuna loppulaktaatioon ja ensikoihin.</p> <p>Tutkimus oli osa Luonnonvarakeskuksen hanketta. Tutkimuksessa oli 48 Ayrshire- ja Holstein-lehmää, jotka jaettiin kolmeen blokkiin: loppulaktaatio (keskimäärin 324 päivää poikimisesta), keskilaktaatio (keskimäärin 90 päivää poikimisesta) ja ensikot. Kokeessa oli kolme koejaksoa (koejaksojen pituudet 27, 26 ja 22 päivää) sekä kovariaattijaksot kokeen alussa ja lopussa. Koelehmät pysyivät samalla karkearehuruokinnalla koko kokeen ajan, mutta vaihtoivat väkirehua aina koejakson päätyttyä. Karkearehuseoksessa kokoviljasäilörehun osuus oli keskimäärin 40 % ja väkirehun osuus 40 % dieetin kuiva-aineesta. Lehmien karkea- ja väkirehunkulutus mitattiin päivittäin. Elopaino, kuntoluokka, maitotuotos ja maidon pitoisuudet mitattiin koe- ja kovariaattijaksoilla.</p> <p>Nurmisäilörehu oli märkää (ka-% 22) ja karkearehuissa oli viitteitä virhekäymisestä. Nurmisäilörehudieeteissä oli enemmän raakavalkuaista (raakavalkuaispitoisuus keskimäärin 159 g/kg ka) kuin kokoviljasäilörehua sisältäneissä dieeteissä (raakavalkuaispitoisuus keskimäärin 146 g/kg ka). Kokoviljasäilörehun lisääminen dieettiin paransi lehmien säilörehusyöntiä (13,0 vs. 12,1 kg ka/pv, p&lt;0,001) ja kokonaissyöntiä (21,8 vs. 20,7 kg ka/pv, p&lt;0,001). Karkearehulla ei ollut vaikutusta typen hyväksikäyttöön, ravintoaineiden saantiin, maitotuotokseen (keskimäärin 27,7 kg/pv) tai maidon koostumukseen. Tavanomaisella valkuaisasolla kaikki tuotantotulokset olivat parempia kuin matalalla valkuaisasolla, lukuun ottamatta rasvapitoisuutta. Lehmäryhmän ja valkuaisason välillä ei todettu yhdysvaikutusta maitotuotoksessa tai typen hyväksikäytössä. Karkearehuruokinta, tuotoskauden vaihe ja poikimakerta eivät vaikuttaneet valkuaislisän tuotosvasteeseen.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Valkuaislisä, vaste, säilörehu, kokoviljasäilörehu, ryhmittely, lypsylehmä			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat: Yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen, Helsingin yliopisto Erikoistutkija Auvo Sairanen, Luonnonvarakeskus			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Marianna Keränen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Production responses to protein supplementation in different groups of dairy cows and different types of roughages			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year August 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 47 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>In order to optimize protein use, protein supplementation should be targeted at the cows that have the highest production responses. It's important to avoid protein overfeeding and nitrogen loss in dairy farms and to minimize the environmental effects. The two roughages compared in a 2 x 2 factorial experiment were grass silage and the mixture of grass silage and wheat-oat whole crop silage. Concentrates contained either low (115 g/kg DM) or conventional level (166 g/kg DM) of crude protein. The aim of the study was to investigate if production response to protein supplementation or nitrogen use efficiency are affected by the type of roughage, milk production level or the stage of lactation. The hypotheses were that 1) production response to protein supplementation and nitrogen use efficiency is better in the whole crop silage diets than in the grass silage diets, 2) the type of roughage does not affect milk production and 3) production response and nitrogen use efficiency is better among multiparous cows in mid lactation than in late lactation or in primiparous cows.</p> <p>The experiment was conducted as a part of the project in Natural Resources Institute Finland. Forty-eight Finnish Ayrshire and Holstein-Friesian cows were grouped into three blocks: late lactation cows (DIM 324 on average), mid lactation cows (DIM 90 on average) and primiparous cows. The study had three experimental periods (duration of the periods 27, 26 and 22 days) and one covariate period at the beginning and one at the end. Each cow received the same roughage over the whole experiment, but the concentrate was changed for each experimental period. The roughage mixture consisted 40% of whole crop silage on average and dietary concentrate proportion was 40% of DM on average. Silage and concentrate intake, body weight, body condition score, milk yield and milk composition were measured in both experimental and covariate periods.</p> <p>Grass silage was wet (DM 22%), and some undesirable fermentation was found in the roughages. Average crude protein was higher in the grass silage diets (159 g/kg DM) than in the whole crop silage diets (146 g/kg DM). The whole crop silage increased silage intake (13,0 v. 12,1 kg DM/d, <math>p &lt; 0,001</math>) and total dry matter intake (21,8 v. 20,7 kg DM/d, <math>p &lt; 0,001</math>). Roughage had no impact on nitrogen use efficiency, nutrient intake, milk production (27,7 kg/d on average) or milk composition. Milk, fat and protein yields, and protein concentration were higher on conventional protein level than on low protein level, whereas the opposite was observed for milk fat concentration. There was no interaction between cow group and protein level in milk production and nitrogen use efficiency. The type of roughage, the stage of lactation or parity did not affect production responses to protein supplementation.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Protein supplementation, production response, grass silage, whole crop silage, grouping, dairy cow			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Supervisors: University lecturer Tuomo Kokkonen, University of Helsinki Senior Scientist Auvo Sairanen, Natural Resources Institute Finland</p>			

# SISÄLLYS

<b>LYHENTEET JA SYMBOLIT.....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>6</b>
<b>2 VALKUAISAINHEET MÄREHTIJÄN RUOKINNASSA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Märehtijän valkuaisainemetabolia .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Rehun proteiinit ja tyypellisten aineiden hajotus .....	7
2.1.2 Mikrobivalkuaisisynteesi .....	8
<b>2.2 Valkuaisen hyväksikäyttö .....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät .....	9
2.2.2 Valkuaisruokinnan ympäristövaikutukset .....	10
2.2.3 Valkuaisruokinnan taloudellinen näkökulma .....	11
<b>3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....</b>	<b>12</b>
<b>4 AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Tutkimuksen toteutus .....</b>	<b>12</b>
4.1.1 Koelehmät.....	12
4.1.2 Koeasetelma.....	13
4.1.3 Koerehut ja ruokinta.....	14
<b>4.2 Mittaukset, näytteenotto ja kemialliset analyysit.....</b>	<b>15</b>
4.2.1 Kuiva-ainenäytteet .....	15
4.2.2 Karkearehujen analyysinäytteet.....	16
4.2.3 Väkirehun analyysinäytteet .....	17
4.2.4 Maitonäytteet, elopainot ja kuntoluokat.....	17
<b>4.3 Tulosten laskeminen ja tilastollinen analyysi .....</b>	<b>18</b>
<b>5 TULOKSET.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1 Rehujen analyysit ja rehuarvot .....</b>	<b>20</b>
5.1.1 Karkearehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvo .....	20
5.1.2 Väkirehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvo .....	21
5.1.3 Dieettien rehuarvot.....	22
<b>5.2 Rehujen syönti ja energiatase.....</b>	<b>23</b>
<b>5.3 Maitotuotos, maidon pitoisuudet ja rehujen hyväksikäyttö.....</b>	<b>25</b>
<b>5.4 Yhdysvaikutukset.....</b>	<b>25</b>
<b>6 TULOSEN TARKASTELU .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1 Karkearehujen käymislaatu .....</b>	<b>29</b>
<b>6.2 Dieetin karkearehun ja väkirehutason vaikutus .....</b>	<b>30</b>
6.2.1 Rehujen syönti ja energiatase.....	30
6.2.2 Maitotuotos, maidon pitoisuudet ja rehujen hyväksikäyttö .....	32
<b>6.3 Yhdysvaikutukset.....</b>	<b>35</b>
6.3.1 Karkearehun ja valkuaisason yhdysvaikutus .....	35
6.3.2 Blokin ja valkuaisason yhdysvaikutus .....	36
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>38</b>

## LYHENTEET JA SYMBOLIT

D-arvo = sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa

EKM = energiakorjattu maitotuotos

NDF = neutraalidetergenttikuitu

RV = raakavalkuainen

PVT = pötsin valkuaistase

OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen

ME = muuntokelpoinen energia

ka = kuiva-aine

SEM = keskiarvon keskivirhe

Ammonium-N = ammoniumtyppi

VFA = haihtuvat rasvahapot

PMR = täydennetty seosrehuruokinta

TMR = seosrehuruokinta

## 1 JOHDANTO

Suomalaisten lypsykarjatilojen määrä on vähentynyt ja niiden koko on kasvanut EU-aikana. Parsinavetoista on siirrytty pihattonavetoihin, mikä on johtanut ryhmäruokinnan yleistymiseen. Tilakoon kasvu vaatii resursseja ruokinnan suunnittelun, toteutuksen ja taloudellisuuden hallintaan. Kasvavat lannoite- ja rehukustannukset, alenevat tuotteiden hinnat sekä tarve vähentää kotieläintuotannon aiheuttamaa ympäristökuormitusta edellyttävät ravinteiden hyväksikäytön parantamista lypsykarjatiloiilla.

Lypsykarjatiloiilla yksilöllinen ruokinta on vaikea toteuttaa eikä yksilöllistä valkuaisvastetta pystytä mittaamaan. Annettu yksilöllinen väkirehumäärä on useasti helppo selvittää, mutta ongelmia ilmenee karkearehun syönnin mittaamisessa, tilakoosta riippumatta. Jos valkuaisruokinnan tuotosvasteessa on yksilöllisiä eroja, valkuaisen käytön optimoimiseksi lisävalkuaisruokinta tulisi kohdentaa sille eläinryhmälle, jolla tuotosvaste on suurin. Käytännön ruokinnassa lehmät on mahdollista ryhmitellä poikimakerran, tuotostason ja tuotosvaiheen mukaan. Dieetin valkuaispitoisuuden kasvaessa typen hyväksikäyttö maidontuotantoon heikkenee (Tomlinson ym. 1996). Matalan typpipitoisuuden omaava kokoviljasäilörehu on käyttökelpoinen tapa alentaa karkearehukomponentin raakavalkuaispitoisuutta.

Lypsylehmä käyttää rehusta saamansa valkuaisen ylläpitoon, mikrobivalkuaisen lähteeksi ja maidontuotantoon. Valkuaisen sulavuudella ja pötsihajoavuudella on merkittävä vaikutus lehmän syöntiin ja valkuaisen hyväksikäyttöön (Hoover ja Stokes 1991). Rehuannoksesta saadun energian määrä vaikuttaa puolestaan mikrobivalkuaisyynteesin tehokkuuteen (Cadorniga ja Satter 1993). Koska lehmä ei pysty hyödyntämään kaikkea rehusta saamaansa typpeä hyväkseen, osa tyypestä erittyy virtsaan ja sontaan (Nousiainen ym. 2003a, s. 28). Lehmän valkuaisstarpeen perusteellinen selvittäminen on tärkeää tuotannon maksimoimiseksi ja ruokinnan typpipanosten minimoimiseksi.

## 2 VALKUAISAINHEET MÄREHTIJÄN RUOKINNASSA

### 2.1 Märehtijän valkuaisainemetabolia

#### 2.1.1 Rehun proteiinit ja tyrellisten aineiden hajotus

Proteiinit ovat tyypeä sisältäviä yhdisteitä, jotka ovat peräisin pääosin kasvien entsyymeistä (McDonald ym. 2011, s. 5). Märehtijä saa tyypeä rehun valkuaisaineista ja ei-proteiinitypeä (Van Soest 1994, s. 290). Ei-proteiiniperäistä tyypeä ovat muun muassa urea, ammoniakki, amiinit, amidit, vapaat aminohapot, nitraatit ja nukleiinihapot. Väkipötsissä ja öljykasveissa suurin osa tyypeästä on valkuaisaineissa, kun taas nurmipötsissä, etenkin palkokasveja sisältävissä säilörehuissa, ei-proteiinityypen osuus on suuri (Patton ym. 2014). Lehmä pystyy hyödyntämään mikrobivalkuaisyynteesissä sekä valkuaisaineita että ei-proteiinitypeä (Van Soest 1994, s. 290).

Märehtijän rehu sisältää monimutkaisia kemiallisia rakenteita, joita märehtijän omat entsyymit eivät pysty pilkkomaan. Karkearehut sisältävät esimerkiksi selluloosaa, joka koostuu  $\beta$ -sidoksin rakentuneista polysakkarideista. Tällaisten rakenteiden pilkkomista varten märehtijöille on kehittynyt ainutlaatuinen mikrobisulatusjärjestelmä, ennen rehun etenemistä entsyymisulatukseen. Pötsimikrobisto hajottaa rehun proteiinit peptideiksi ja aminohapoiksi. Osa aminohapoista hajotetaan myöhemmin vielä orgaanisiksi hapoiksi, ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Myös ei-proteiinityppi hajoaa ammoniakiksi. Mikrobifermentaation tuotteena syntyneet haihtuvat rasvahapot imeytyvät suoraan pötsin seinämän läpi. Aminohapot ja peptidit puolestaan imeytyvät ohutsuolessa. Pötsissä hajoamatonta rehuvalkuaisen osaa kutsutaan ohitusvalkuaiseksi (McDonald ym. 2011, s. 59, 171, 173, 179). Typpiyhdisteiden sulamattoman aineksen lehmä erittää virtsassa ja sonnassa (Kirchgeßner ym. 1994). Kaasumaiset lopputuotteet eritetään röyhtäilemällä (Beauchemin 2018).

Ammoniakki on keskeinen välivaihe mikrobihajotuksessa ja proteiinisyynteesissä. Mikäli dieetissä on puutetta valkuaisesta tai valkuainen on hitaasti pötsissä hajoavaa, pötsimikrobien kasvu hidastuu. Mikrobivalkuaisyynteesiin vaikuttaa myös pötsissä fermentoituvan orgaanisen aineen määrä, mikä vaikuttaa keskeisesti pötsimikrobien energian saantiin. Valkuaisaineiden hajotuksen ollessa nopeampaa kuin niiden synteesin, tyypeä siirtyy pötsin ammoniakkipooliin (McDonald ym. 2011, s. 180). Ammoniakin

optimaalisen konsentraation ylittyessä, se imeytyy pötsistä verenkiertoon ja päätyy lopulta maksaan, jossa se muutetaan ureaksi. Osa ureasta palaa syljen mukana uudelleen pötsiin mikrobien hyödynnettäväksi tai diffusoituu maitoon (Schwab ja Broderick 2017).

### 2.1.2 Mikrobivalkuaissynteesi

Märehtijä käyttää aminohappoja mikrobivalkuaisen synteesiin, lihaskudoksen, maksan ja maitorauhasen valkuaissynteesiin, glukoneogeneesiin sekä pötsimikrobien energialähteeksi (Bergman ja Heitmann 1978, Russell ja Wallace 1997, Walker ym. 2005). Lypsylehmä käyttää suurimman osan aminohapoista maidossa eritettävän valkuisen tuotantoon (Reynolds ym. 1994). Rehuseoksen komponenttien erilaiset valkuis- ja aminohappokoostumukset määrittelevät, mitkä aminohapot osoittautuvat rajoittaviksi tekijöiksi mikrobivalkuisen synteesin ja maidontuotannon kannalta kussakin dieetissä. Histidiini on todettu ensimmäiseksi maidontuotantoa rajoittavaksi aminohapoksi täydennettäessä nurmisäilörehupohjaisia dieettejä viljalla (Vanhatalo ym. 1999). Ruokinnan perustuessa pääosin maissiin tai sinimailasnurmiseokseen, rajoittavia aminohappoja ovat lysiini ja metioniini (Schwab ym. 1976). Pötsimikrobisto pystyy syntetisoimaan kaikkia välttämättömiä ja ei-välttämättömiä aminohappoja lehmän käyttöön. Mikrobivalkuisen muodostukseen pötsimikrobit hyödyntävät aminohappojen lisäksi ammoniakkia ja lyhytketjuisia peptidejä (McDonald ym. 2011, s. 59, 179).

Mikrobivalkuisen synteesin määrään vaikuttavat kuiva-ainesyöinti, rehuannoksen hiilihydraattien ominaisuudet, pH:n muutokset, rehusta saatava typen ja aminohappojen määrä sekä orgaanisen aineen sulavuus (Clark ym. 1992, Stern ym. 1994, Titgemeyer 1997, Firkins ym. 1998). Runsasenergiset dieetit stimuloivat mikrobivalkuisen synteesiä (Cadorniga ja Satter 1993). Mikrobivalkuisen maksimaalinen tuotanto edellyttää, että rehusta saatavien aminohappojen määrä on riittävällä tasolla. Osa valmistetusta mikrobivalkuisesta hajoaa pötsissä ja sen sisältämä typpi käytetään uudelleen (McDonald ym. 2011, s. 59, 179).



## 2.2 Valkuaisen hyväksikäyttö

### 2.2.1 Hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät

Väkirehut annetaan lypsylehmille tavallisesti karkearehuista erillään. Tilakoon kasvun myötä yhä useammilla tiloilla on Suomessakin siirrytty TMR-seosrehuruokintaan. Väkirehuruokinnan määrä perustuu lypsykarjatiloiilla tavallisesti lehmien maitotuotokseen (Kokkonen 2005, s. 2). Väkirehulisän avulla voidaan kasvattaa rehuannoksen sulavuutta, lehmien rehun syöntiä sekä maito- ja valkuaisuutosta. Rehun sulavuuden kasvaessa mikrobivalkuaisen muodostus tehostuu (Hoover ja Stokes 1991). Pötsihajoavan valkuaisen puute puolestaan rajoittaa mikrobivalkuaisen synteesin lisäksi etenkin kuidun sulatusta ja rehun syöntiä (Schwab ja Broderick 2017). Lehmän valkuaisen kokonaissaanti muodostuu karkearehun ja väkirehun ohitusvalkuaisesta, mikrobivalkuaisesta sekä ohutsuolesta takaisin imeytyvästä endogeenisestä valkuaisesta (Rinne 2010, s. 9).

Rehujen valkuaisainesisältöä arvioidaan tavallisesti raakavalkuaispitoisuuden tai ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen määrän kautta (Burroughs ym. 1975, Schwab ja Broderick 2017). Dieetin raakavalkuaispitoisuus riippuu käytettävistä rehuista ja valkuaisen sulavuus puolestaan proteiinin lähteestä, proteiinilähteen kemiallisesta koostumuksesta sekä dieetin komponenttien keskinäisistä vuorovaikutuksista (Erasmus ym. 1994, Patton ym. 2014). Yksittäinen merkittävä sulavuuteen vaikuttava tekijä on kuidun määrä ja laatu dieetissä (McDonald ym. 2011, s. 247-248).

Typen hyväksikäytön tehokkuutta rajoittaa lehmien biologinen kyky muuntaa rehun tyyppiä maidon proteiiniksi (Powell ym. 2010). Runsaalla valkuaisruokinnalla lehmän typen hyväksikäyttö on heikkoa. Kasvanut valkuaisuutos on yleensä seurausta lisääntyneestä kuiva-ainesyönnistä tai lisääntyneestä aminohappojen ja energian saannista (Broderick 2003). Ruokinnan tyypipitoisuuden kasvaessa valkuaisuutos kasvaa, mutta samaan aikaan rehun typen hyväksikäyttö maidon valkuaiseksi heikkenee. Colmeron ja Broderickin (2006) tutkimuksessa maito- ja valkuaisuutos eivät kasvaneet enää 16,5 %:a suuremmilla ruokinnan raakavalkuaispitoisuuksilla. Lehmän typen hyväksikäytön tehokkuudella ja maitotuotoksella ei ole todettu keskinäistä riippuvuutta (Huhtanen ym. 2008). Dieetin valkuaisen pötsihajoavuus ei ennusta lypsylehmän valkuaisuutosta ja typen hyväksikäyttöä (Huhtanen ja Hristov 2009).

Valkuaislisän kohdentamista eri lehmäryhmille on tutkittu paljon. Aikaisemmissa tutkimuksissa ryhmän ja valkuaisvasteiden yhdysvaikutukset ovat olleet heikkoja. Valkuaislisän kohdentamisen ensikoille tai useammin poikineille lehmille ei ole havaittu aiheuttavan eroa maitotuotoksessa (Mäntysaari ym. 2004, Khalili ym. 2006). Valkuaislisällä on todettu olevan samanlaiset vasteet myös esimerkiksi alku- ja keskilaktaatiokauden lehmien rehun syönnissä ja maitotuotoksessa (Kokkonen 2005, s. 41). Dieetin raakavalkuaisuuteen perustuvan tutkimuksen rinnalla, aminohappo- ja valkuaisstarpeiden tutkimukseen ja mallinnukseen panostetaan jatkossa yhä enemmän, kun halutaan pienentää valkuaisruokinnan tasoa, tehostaa tuotantoa sekä vähentää ruokinnan kustannuksia ja ympäristövaikutuksia (Schwab ja Broderick 2017).

### 2.2.2 Valkuaisruokinnan ympäristövaikutukset

Dieetin raakavalkuaispitoisuuden kasvaessa pötsissä hajotetun valkuaisen määrä kasvaa (Muck 1982). Kun pötsimikrobien valkuaisen tarve ylitetään ruokinnassa, valkuaisen hyväksikäyttö tuotantoon heikkenee voimakkaasti ja merkittäviä määriä tyypestä menetetään eritettäväksi ympäristöön sontana, virtsana ja kaasumaisina tuotteina (Milano ym. 2000). Tyypin hyväksikäyttö maidontuotantoon on lypsylehmillä noin 30 % (Castillo ym. 2000). Virtsan tyyppiä erittyy noin 30 % ja sontaan saman verran. Dieetin raakavalkuaispitoisuuden kasvattaminen lisää nimenomaan virtsassa erittyvän tyypin osuutta, joten siihen voidaan merkittävästi vaikuttaa ruokinnallisilla keinoilla (Nousiainen ym. 2003a, s. 34). Sonnan ja virtsan tyyppiyhdisteiden hajoaminen synnyttää dityppioksidia, joka on kasvihuonekaasu. Virtsan kautta eritetty ammoniakki aiheuttaa happamoitumista ja ravinnekuormitusta vesistöihin (Jarvis 1994, Ledgard ym. 1998, Tamminga 1992).

Valkuaisyliruokinta kuluttaa myös ylimääräistä energiaa, kun ureana eritettävän valkuaisen määrä lisääntyy (Milano ym. 2000). Lisäksi valkuaisen yliruokinnan on todettu aiheuttavan negatiivisia vaikutuksia esimerkiksi lisääntymiskykyyn alkiokuolemien ja kohdussa tapahtuvien muutosten kautta (Broderick 1992, Butler 1997, Ferguson ja Sklan 2005, s. 249). Dieettien korkeita raakavalkuaispitoisuuksia ja etenkin pötsissä hajoavan valkuaisen runsaita pitoisuuksia välttämällä, voidaan parantaa tyypin hyväksikäyttöä ja vähentää tyypin hävikkiä lantaan (Huhtanen ym. 2008). Eläimen tyypin hyväksikäytön parantamista vieläkin tehokkaampi tapa alentaa tyyppitappioita

lypsykarjatiloiilla on vähentää tuontilannoitteiden ja -valkuaisravinteiden osuutta maataloilla sekä tehostaa typenottoa maaperästä (Virtanen ja Nousiainen 2005).

### 2.2.3 Valkuaisruokinnan taloudellinen näkökulma

Ruokinta on merkittävä yksittäinen kuluerä lypsykarjatiloiilla. Sen toteutusta on tarkasteltava maatalousyhteisöissä kriittisesti ja toimintatapoja on sopeutettava alati muuttuvaan toimintaympäristöön. Tuotannossa on huomioitava kussakin markkinatilanteessa vallitsevat tuotantopanosten ja tuotteiden hinnat, maatalouspoliittinen sääntely, teknologia ja uudet innovaatiot (Turkki 2000). Valkuaisruokinnan taso tulisi lypsykarjatilalla valita siten, että yritystoiminnassa tavoitellaan tuottojen maksimointia (Kay ym. 2012, s. 125). Valkuaisen ylikuokinta vähentää voittomarginaalia väkirehuihin sijoitettavan merkittävän suuren rahallisen panostuksen vuoksi (Broderick 2003). Taloudellisessa optimissa toimittaessa välttytään myös turhalta ympäristön kuormitukselta (Kay ym. 2012, s. 132).

Mitä lähempänä lehmä on potentiaalitytöstään, sitä pienempi on odotettu vaste lisäruokinnasta (Daniel ym. 2017). Ilmiötä kuvaa tuotantoeconomian termi, alenevan lisätuoton laki. Sen mukaisesti jokainen dieetin valkuaislisä kasvattaa maitotuotosta vähemmän kuin edellinen lisäys. Alhaisilla valkuaisruokinnan tasoilla maitotuotos kasvaa lineaarisesti. Kun valkuaisruokinnan tasoa kasvatetaan merkittävästi, tulee vastaan lehmän biologinen optimi, jossa valkuaislisä ei enää kasvata maitotuotosta. Lopulta lisävalkuainen alkaa kasvattamisen sijaan laskea tuotosta ja tuotantopanos menee hukkaan. (Kay ym. 2012, 124-130).

Kotoiset rehuvaihtoehdot ovat taloudellisesti järkevä ratkaisu ja niillä saadaan aikaan myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Kokovilja on kustannustehokas ja vähän hyödynnetty rehuraaka-aine. Kokovilja sisältää runsaasti sulamatonta kuitua sekä parhaimmillaan myös runsaasti sokeria ja tärkkelystä. Mitä pidemmälle viljakasvusto ehtii tuleentua, sitä enemmän sokereita ehtii muuttua tärkkelykseksi. Kokoviljasäilörehun koostumus vaihtelee hyvin paljon riippuen lajikevalinnasta, korjuuajankohdasta ja -tavasta, korren pituudesta ja kasvuolosuhteista (Kristensen 1992, Sutton ym. 2002). Kokoviljasäilörehun viljely vähentää ostolannoitteiden tarvetta verrattaessa nurmirehuun ja kokoviljasta voidaan saavuttaa jopa saman suuruisia satoja kuin nurmesta (Kykkänen ym. 2014, s. 14, Suomela ja Luoma 2014, s. 53).

Kokoviljasäilörehukasvustoa voidaan käyttää suojakasvustona perustettaessa nurmea uudelleen. Kokoviljasäilörehun käyttöönoton etuna on, että korjaamalla viljakasvusto säilörehuksi, voidaan myös karkearehujen riittävyttä parantaa maatalousyrityksissä. Samalta peltopinta-alalta saadaan tällöin korjattua suurempi määrä karkearehuja. Lisäksi lypsykarjatilojen rehuntuotantokustannuksia saadaan alennettua käyttämällä säilörehun korjuu- ja säilöntämenetelmiä viljan korjuuseen, perinteisen viljasadon leikkuupuinnin ja kuivaamisen sijaan (Kykkänen ym. 2014, s. 10).

### **3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET**

Tutkimuksen päätavoitteena oli tutkia vaikuttavatko karkearehutyypit, lehmien tuotostaso tai laktaatiovaihe valkuaisruokinnasta saatavaan tuotosvasteeseen ja samalla valkuaisen hyväksikäyttöön. Tutkimuksessa haluttiin testata eläinryhmäkohtaiset lisävalkuaisvasteet sekä lisävalkuaisvasteet kahdella erityyppisellä karkearehulla, jotka eroavat valkuaispitoisuudeltaan toisistaan. Yleistavoitteena oli tutkia valkuaisen hyväksikäytön parantamismahdollisuuksia. Tutkimuksen hypoteesit olivat: 1) kokoviljasäilörehuruokinnalla valkuaislisän tuotosvaste ja typen hyväksikäyttö on parempi kuin nurmisäilörehuruokinnalla, 2) kokoviljasäilörehuruokinnalla maitotuotos on sama kuin nurmisäilörehuruokinnalla sekä 3) valkuaisen tuotosvaste ja samalla valkuaisen hyväksikäyttö on korkeampi vanhempien lehmien keskilaktaatiossa verrattuna loppulaktaatioon ja ensikoihin.

### **4 AINEISTO JA MENETELMÄT**

#### **4.1 Tutkimuksen toteutus**

##### **4.1.1 Koelehmät**

Tutkimus oli osa Luonnonvarakeskuksen (Luke) Lypsylehmien valkuaisruokinnan optimointi ja tyyppipäästöjen hallinta -hanketta (LyVa). Osarahjoittajana toimi Maatilatalouden kehittämisrahasto (MAKERA). Kokeessa oli yhteensä 48 Ayrshire- ja Holstein- lehmää, jotka olivat poikineet 1–8 kertaa. Tuloksissa huomioitiin 45:n lehmän tulokset, sillä kokeesta jouduttiin poistamaan kolme lehmää: yksi lehmä hiivatulehduksen ja kaksi lehmää voimakkaan ehtymisen vuoksi. Koelehmien keskimääräinen poikimakertojen lukumäärä oli 2,5. Koelehmät jaettiin kovariaattijakson perusteella kolmeen blokkiin: loppulaktaatioon (blokki 1), keskilaktaatioon (blokki 2) ja ensikoihin

(blokki 3). Tuloksissa huomioiduista koelehmistä loppulaktaatiovaiheessa oli 8 kpl, keskilaktaatiovaiheessa 21 kpl ja ensikoita oli 16 kpl. Loppulaktaatiovaiheen koelehmien aika poikimisesta oli kokeen aikana keskimäärin 324 päivää, keskilaktaatiovaiheen koelehmillä 90 päivää ja ensikoilla 225 päivää. Lehmien elopaino oli kokeen aikana keskimäärin 655 kg ja kuntoluokka 3.

Lehmät olivat verhoseinäpihatossa kahdessa 24 lehmän osastossa. Kummassakin osastossa oli kaksi parsiriviä ja lantakäytävää, yksi takaportillinen väkirehukioski (Oy DeLaval Ab, Tumba, Ruotsi) sekä 12 kpl eläimen tunnistavaa, karkearehusyöntiä mittaavaa RIC (Roughage Intake Control) (Insentec B.V., Marknesse, Alankomaat) -vaakakuppia.

#### 4.1.2 Koeasetelma

Koe tehtiin Luonnonvarakeskuksen Maaningan toimipisteessä 18.1.2018–30.4.2018. Koeasetelma oli 2 x 2 faktoriaalinen. Karkearehuvaihtoehtoina olivat nurmisäilörehu ja nurmikorokoviljaseos sekä valkuaistasoina matala ja tavanomainen. Koe suoritettiin switch back –menetelmällä, jossa koelehmät vaihtoivat väkirehua aina koejakson päätyttyä, mutta pysyivät samalla karkearehulla koko kokeen ajan. Blokkien sisällä jokaiselle koelehmälle arvottiin koeväkirehujen käsittelyjen järjestys ABA tai BAB. Mikäli koelehmälle oli arvottu käsittelyjärjestys ABA, sai se koejaksolla 1 tavanomaisen valkuaistason väkirehua, koejaksolla 2 matalan valkuaistason väkirehua ja koejaksolla 3 jälleen tavanomaisen valkuaistason väkirehua. Käsittelyjärjestys BAB oli käänteinen käsittelyjärjestykseen ABA nähden.

Kokeessa oli kolme koejaksoa sekä kovariaattijaksot kokeen alussa ja lopussa. Lehmät totuttelivat koerehuihin 7 päivää kokeen alussa kovariaattijaksolla, 20 päivää koejaksolla 1, 19 päivää koejaksolla 2, 15 päivää koejaksolla 3 ja 12 päivää jälkikovariaattijaksolla. Koejaksoilla keruuviikko kesti seitsemän päivää. Kovariaattijaksojen keruuviikot kestivät kahdeksan päivää. Jälkikovariaattijaksoa käytettiin tuotoskauden loppumisen seurantaan arvioitaessa loppulypsykauden lehmien tulosten koekelpoisuutta. Ehtymisen täytyi olla samankaltaista eri koejäsenten välillä, jotta lehmähavainto kelpuutettiin tilastanalyysiin. Jälkikovariaattijaksoa ei käytetty tilastomallissa.

### 4.1.3 Koerehut ja ruokinta

Kovariaattijaksoilla seosrehu koostui nurmisäilörehusta, vehnäaurakokoviljasäilörehusta, rypistä, ohrasta sekä kivennäisliestä. Karkearehussa nurmirehun osuus oli kovariaattijaksoilla keskimäärin 72 % ja kokoviljasäilörehun 28 %. Väkirehuprosentti oli keskimäärin 41 % ja dieetin tavoiteltu raakavalkuaispitoisuus 144 g/kg. Kaikki koelehmät olivat samalla ruokinnalla kummallakin kovariaattijaksolla.

Varsinaisilla koejaksoilla koelehmät olivat erillisruokinnalla. Toisella koeosastolla koejaksojen karkearehu koostui nurmisäilörehusta ja vehnäaurakokoviljasäilörehusta ja toisella osastolla pelkästään nurmisäilörehusta. Karkearehuseos sisälsi koejaksoilla kokoviljaa keskimäärin 40 %. Yksilötason valkuaisvasteita testattiin kahdella valkuaispitoisuudeltaan erilaisella koeväkirehulla (Raisioagro Oy, Ylivieska, Suomi), joiden raaka-ainekoostumus on esitetty taulukossa 1. Tavanomaisen valkuaispitoisuuden väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli 166 g/kg ja matalan valkuaispitoisuuden väkirehun 115 g/kg. Päivittäinen väkirehumäärä oli kullakin koelehmällä yksilöllinen kovariaattijaksolla määritetyn kuiva-ainesyönnin mukaan. Keskimääräinen väkirehun osuus koejaksojen dieetissä oli 40 %. Tavoitteena kokeessa oli sama väkirehuprosentti lehmäkohtaisesta kokonaissyönnistä riippumatta. Tällöin lehmät, joiden syöntipotentiaali oli suurempi, saivat suuremman päiväannoksen väkirehua. Tavoitellut lehmäkohtaiset väkirehuannokset olivat 9–13 kg/pv.

Taulukko 1. Väkirehujen raaka-ainekoostumus.

Valkuaistaso	Matala RV	Tavanomainen RV
Komponentit, % ilmakeivasta		
Ohra	39	31
Kaura	39	31
Rypsirohe	0	20
Melassileike	19	15

RV = raakavalkuainen

Kovariaatti- ja koejaksoilla käytetty säilörehu oli laakasiiloon säilöttyä toisen niiton nurmisäilörehua kasvukaudelta 2017 ja vehnäaurakokoviljasäilörehu oli korjattu syksyllä 2017 salvosiiloon. Nurmirehun esikuivatusaika oli 16–24 tuntia.

Kokoviljasäilörehu korjattiin suoraniittona myöhäisessä taikinatuleentumisvaiheessa. Molempien karkearehujen korjuussa käytettiin ajosilppuria. Nurmisäilörehu oli säilötty AIV2 Plus Na -säilöntäaineella ja kokovilja AIV Ässä Na -säilöntäaineella. Karkearehut sekoitettiin pystyruuviseosrehuvaunussa (Trioliet Solomix 2 1600, Oldenzaal, Alankomaat). Vaunu tyhjennettiin kummallekin karkearehulle määrättyyn täyttöpöytään. Myös pelkkä nurmisäilörehu sekoitettiin seosrehuvaunussa ennen täyttöpöytään laittamista. Karkearehuja sekoitettiin täyttöpöytiin vähintään joka toinen päivä.

Koeosastojen jokaiseen ruokintakuppiin jaettiin karkearehuja 5–6 kertaa päivässä kahdella automaattisella pihattosukkulalla (FreeStallRobot, Pellon Group Oy, Ylihärmä, Suomi). Karkearehua oli saatavilla jatkuvasti ja sitä syötettiin vapaasti. Yöllä karkearehuja ei jaettu. Kahta koelehmää kohden oli yksi ruokintakuppi. Koelehmillä oli mahdollisuus syödä 12 ruokintakupista tarjolla olevaa karkearehua koeosastollaan. Tavoitteena pidettiin 10 %:n ylitarjontaa karkearehussa. Koelehmät saivat joko tavanomaisen tai matalan valkuaistason väkirehua koeosastojen kioskeista kullekin lehmälle määrätyn käsittelyjärjestyksen mukaisesti. Väkirehun kerta-annos kioskista oli 0,3–0,4 kg. Koelehmien yksilöllinen väkirehukulutus tarkistettiin kahdesti päivässä ja tarvittaessa koelehmii ajettiin kioskeihin, jotta varmistettiin jokaisen koelehmän päivittäisen väkirehusyönnin täyttyminen. Myös koelehmien karkearehusyöntejä seurattiin.

## **4.2 Mittaukset, näytteenotto ja kemialliset analyysit**

### **4.2.1 Kuiva-ainenäytteet**

Karkea- ja väkirehusyöntejä seurattiin ja mitattiin päivittäin koko kokeen ajan. Syömättömät rehut poistettiin koeosastojen ruokintakupeista joka aamu klo 6–8 ja jätteet punnittiin ennen uusien rehuseosten jakamista. Koe- ja kovariaattijaksoilla ruokintakupeista ja seosrehuvaunusta otettiin karkearehuista kuiva-ainenäytteet kolmesti joka viikko, keruuviikoilla tavoitteena oli ottaa näytteet päivittäin. Rehunäytteet kerättiin ruokintakupeista edustavasti siten, että osanäytteitä otettiin kaikilta eri pihattosukkulalan jakokerroilta juuri jaetusta rehusta. Keruuviikoilla karkearehuja pyrittiin sekoittamaan joka päivä uusi erä. Primaarinen kuiva-ainepitoisuus määritettiin pitämällä näytteitä uunissa (Memmert UL 60, Gemini BV, Apeldoorn, Alankomaat) 105 °C:n lämpötilassa 24 tuntia.

#### 4.2.2 Karkearehujen analyysinäytteet

Karkearehujen sekoittamisen yhteydessä keruuviikoilla erotettiin karkearehuista näytteet pakastettaviksi -20 °C:ssa. Karkearehunäytteiden päivittäinen näytemäärä oli noin 300g ja ne kerättiin isoihin pakastuspusseihin koko keruuviikon yhdistetyksi näytteeksi. Osanäytteet pyrittiin pitämään lähes samansuuruisina, jotta yhdistetystä näytteestä saatiin koko keruuviikon ruokinnallista arvoa edustava. Näytteet toimitettiin kemialliseen analyysiin Luonnonvarakeskukseen Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratorioon Jokioisiin. Näytteistä analysoitiin primaarinen ja sekundaarinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, NDF, tärkkelys, sokeri, etanoli, maitohappo, haihtuvat rasvahapot, ammonium-N, pH ja D-arvo.

Primaarisen kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen tehtiin kuivaamalla näytteitä 105 °C:n lämpötilassa 20 tuntia. Sekundaarisen kuiva-ainepitoisuuden määrittämisessä näytteitä kuivattiin jälleen 105 °C:n lämpötilassa 16 tunnin ajan. Kuivatuksessa hävinneet haihtuvat yhdisteet otettiin huomioon Huidan ym. (1986) mukaisesti. Tuhkan määrittämisessä käytettiin standardianalyysijä (AOAC 1990, No. 942.05). Typpimäärittämisessä noudatettiin Dumasin menetelmää (AOAC 1990, No. 968.06) käyttäen typpianalysaattoria (Leco FP 428, Leco Corporation, St. Joseph, USA). Raakavalkuaispitoisuus laskettiin kertomalla näytteen typpipitoisuus 6,25:llä. NDF-kuidun määrittäminen tehtiin Van Soestin ym. (1991) menetelmän mukaisesti. Tärkkelyksen määrittäminen tehtiin Salon ja Salmen (1968) mukaisesti. Sulavan orgaanisen aineen pitoisuuden eli D-arvon määrittämisessä käytettiin Friedelin ym. (1990) in vitro -sellulaasimenetelmää. Laskennassa käytettiin Nousiaisen ym. (2003b) ja Huhtasen ym. (2006) in vivo sulavuuskokeisiin perustuvia korjauskaavoja.

Ammoniumtypen määrittäminen tehtiin McCulloughin (1967), sokerin määrittäminen Somogyin (1945) ja maitohapon määrittäminen Haackerin ym. (1983) mukaisesti. Muurahaishappopitoisuuden määrittäminen tehtiin kaupallisella testipakkauksella (Cat. No. 979 732, Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, Saksa) ja etanolipitoisuuden määrittäminen testipakkauksella (Cat. No. 981680, KONE Instruments Corporation, Espoo, Suomi). Analysaattorina muurahaishappo- ja etanolipitoisuuden määrittämisessä käytettiin KONE Instruments Pro 981489 -laitetta. Haihtuvien rasvahappojen (VFA) määrittäminen tehtiin kaasukromatografilla (HP 6890, Littleton, Colorado) käyttäen automaattista injektoria (HP 7683), FID-tunnistinta ja kolonnia (HP-FFAP 10 m x 0,53 x 1.0 mm, kantokaasu



helium) Huhtasen ym. (1998) mukaisesti ja pH määritettiin pH-mittalaitteella (Mettler Toledo 345, Mettler-Toledo AG, Schwerzenbach, Switzerland).

#### 4.2.3 Väkirehun analyysinäytteet

Keruuviikoilla kummankin koeosaston kioskeista otettiin näytteet molemmista väkirehuista kolmena päivänä. Näytettä otettiin kerralla kalibrointimokkulan antama kerta-annos, joka oli noin 700 g. Kolmen päivän näytteet kerättiin kioskeittain kummastakin väkirehusta samaan näytepussiin. Näytteet toimitettiin analysoitavaksi Luken Jokioisten Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratorioon. Koeosastojen kioskien antamat väkirehun määrät kalibroitiin aina ennen keruuviikkojen alkamista. Kalibrointi tehtiin kummallekin väkirehulle erikseen. Kalibroitaessa jakoruuvin yhdellä kierroksella antama väkirehu kerättiin näytepussiin, punnittiin ja kyseiset painot ohjelmoitiin kioskia ohjaavalle tietokoneelle.

Väkirehuista analysoitiin primaarinen ja sekundaarinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, raakarasva, raakakuitu ja NDF. Väkirehunäytteiden analysoinnissa oli käytössä samat menetelmät kuin säilörehuanalyyseissä. Väkirehujen raakarasvapitoisuuden määrittämisessä noudatettiin menetelmää (AOAC 1990, No. 920.39) ja käytettiin Soxcap-Soxtec -analysaattoria.

#### 4.2.4 Maitonäytteet, elopainot ja kuntoluokat

Sekä kovariaatti- että keruujaksoilla koelehmiltä mitattiin elopaino, kuntoluokka, rehunkulutus, maitotuotos ja maidon pitoisuudet. Koelehmät lypsettiin kaksi kertaa päivässä (klo 6.00 ja 16.00) 2 x 8 -kalanruotolypsyasemalla (SAC, Kolding, Tanska). Maitotuotos tallentui automaattisesti jokaiselta lypsykerralta tietokoneelle. Maitonäytteistä määritettiin keruuviikkojen kahtena peräkkäisenä päivänä aamu- ja iltalypsyllä. Näytteet toimitettiin analysoitavaksi Valio Oy:n aluelaboratorioon Seinäjoelle. Maidosta tutkittiin rasva-, valkuais-, laktoosi- ja ureapitoisuus sekä soluluku MilcoScan FT6000 -laitteella. Elopainon mittaus tapahtui päivittäin koeosastojen väkirehukioskeihin asennettujen vaakojen avulla. Kuntoluokka 1–5 (Edmonson ym. 1989) arvioitiin silmämääräisesti jokaisella keruujaksolla. Kuntoluokituksen suoritti kaksi arvioijaa, joiden tuloksista laskettiin keskiarvo. Kuntoluokituksen suorittivat aina samat henkilöt.

### 4.3 Tulosten laskeminen ja tilastollinen analyysi

Laskenta tehtiin käyttäen seuraavia rehutaulukoiden ja ruokintasuositusten (Luke 2018) laskentakaavoja:

Karkearehun energia-arvo, MJ ME/kg ka = D-arvo x 0,016

Kokoviljasäilörehun energia-arvo, MJ ME/kg ka = D-arvo x 0,0155

Väkirehun energia-arvo, MJ ME/kg ka =  $(15,2 \times \text{srv} + 34,2 \times \text{srr} + 12,8 \times \text{srk} + 15,9 \times \text{stua}) / 1000$ , jossa

srv = sulava raakavalkuainen, g/kg ka

srr = sulava raakarasva, g/kg ka

srk = sulava raakakuitu, g/kg ka

stua = sulavat typettömät uuteaineet, g/kg ka

Korjattu muuntokelpoisen energian saanti, MJ/pv = Korjaamaton ME-saanti (MJ/pv) –  $(-56,7 + 6,99 \times \text{MEyp} + 1,621 \times \text{ka-syönti} - 0,44595 \times \text{rv-pit} + 0,00112 \times \text{rv-pit}^2)$ , jossa

MEyp = rehuannoksen korjaamaton ME-pitoisuus, MJ/kg ka

ka-syönti = kuiva-aineen syönti, kg/pv

rv-pit = rehuannoksen raakavalkuaispitoisuus g/kg ka

Muuntokelpoisen energian tarve ylläpitoon, MJ ME/pv =  $\text{Elopaino}^{0,75} \times 0,515$

Muuntokelpoisen energian tarve maidontuotantoon, MJ ME/pv =  $5,15 \times \text{EKM (kg)}$

Korjaamaton energiatase = Korjaamaton energian saanti (MJ ME/pv) – (energian tarve ylläpitoon (MJ ME/pv) + energian tarve maidontuotantoon (MJ ME/pv))

Korjattu energiatase = Korjattu energian saanti (MJ ME/pv) – (energian tarve ylläpitoon (MJ ME/pv) + energian tarve maidontuotantoon (MJ ME/pv))

Valkuaisarvot OIV, g/kg ka =  $\text{OIV}_{\text{mv}} + \text{OIV}_{\text{ov}}$  ja PVT, g/kg ka =  $\text{hv} - \text{mv}$

$\text{OIV}_{\text{mv}} = \text{ahmv} \times \text{smv} \times \text{mv}$

$\text{OIV}_{\text{ov}} = \text{sov} \times \text{ov}$

$$hv = hvo \times rv$$

$$mv = 152 \times (D\text{-arvo} - ov) / 1000$$

$$ov = rv - hv = (1 - hvo) \times rv, \text{ joissa}$$

$OIV_{mv}$  = ohutsuolesta imeytyvä mikrobivalkuainen

$OIV_{ov}$  = ohutsuolesta imeytyvä ohitusvalkuainen

ahmv = aminohappojen osuus mikrobivalkuaisesta (vakio = 0,75)

smv = mikrobivalkuaisen sulavuus (vakio = 0,85)

mv = mikrobivalkuaisen tuotanto (g/kg ka)

sov = ohitusvalkuaisen sulavuus (vakio = 0,82)

ov = ohitusvalkuainen (g/kg ka)

hv = hajoava valkuainen (g/kg ka)

hvo = hajoavan valkuaisen osuus

rv = rehun raakavalkuainen (g/kg ka)

Energiakorjattu maitotuotos EKM, kg = maitotuotos (kg)  $\times$  (383  $\times$  rasva (%) + 242  $\times$  valkuainen (%) + 165,4  $\times$  laktoosi (%) + 20,7) / 3140 (Sjaunja ym. 1990)

Karkearehun NDF:n osuus kuiva-ainesyönnistä, % =

NDF-saanti karkearehusta (g/kg ka) / Kuiva-aineen syönnin kokonaismäärä (kg ka)

Tilastollinen analyysi tehtiin SAS 9.4 Mixed proseduurilla (SAS Institute, Cary, NC, USA). Tuotantotuloksia laskettaessa kiinteinä muuttujina mallissa olivat koejakso, valkuaistaso, blokki, karkearehu, blokki\*valkuaistaso ja karkearehu\*valkuaistaso. Satunnaismuuttujana oli lehmä. Maidontuotannon ja maidon pitoisuuksien tulosten laskennassa malliin lisättiin kiinteäksi muuttujaksi muuttujakohtainen kovariaatti. Tilastoajon residuaalien tarkastelussa havaitut huomattavan poikkeavat arvot, jotka eivät olleet selitettävissä ruokinnalla, poistettiin. Kolmen kokonaan datasta poistetun koelehmän lisäksi poistettiin viideltä lehmältä yksi jakso eli yhteensä viisi havaintoa. Havaintojen kokonaismäärä oli datassa 45 lehmältä kaikkiaan 130 kappaletta. Tilastollisessa analyysissä p-arvo <0,001 tarkoitti tilastollisesti erittäin merkitsevää, p-arvo <0,01 tilastollisesti hyvin merkitsevää, p-arvo <0,05 merkitsevää ja p-arvo <0,1 suuntaa antavaa tilastollista merkitsevyyttä.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Rehujen analyysit ja rehuarvot

#### 5.1.1 Karkearehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvo

Nurmisäilörehu oli märkää, kuiva-ainepitoisuuden ollessa 221 g/kg (taulukko 2). Vehnäaurakokoviljasäilörehun kuiva-ainepitoisuus oli 321 g/kg ja nurmikokoviljaseoksen 261 g/kg. Nurmisäilörehun kokoviljaa selvästi suurempi raakavalkuaispitoisuus, 171 g/kg ka, paransi nurmikokoviljaseoksessa valkuaispitoisuutta merkittävästi. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuus oli nurmisäilörehussa yli 30 g/kg ka ja seoksessa alle 30 g/kg ka. D-arvot olivat nurmisäilörehussa ja seoksessa alle 650 ja niiden pH oli keskimäärin 4. Nurmisäilörehun energiapitoisuus oli 10,3 MJ/kg ka, mikä kompensoi karkearehuseoksessa kokoviljan heikompa muuntokelpoisen energian pitoisuutta. OIV-pitoisuus oli sekä nurmisäilörehussa, kokoviljassa että nurmikokoviljaseoksessa noin 80 g/kg ka ja PVT:t olivat selvästi positiivisia.

Taulukko 2. Karkearehujen koostumus ja rehuarvo.

Karkearehu	Nurmi- säilörehu	Vehnäkaure- kokoviljasäilörehu	Nurmi- kokoviljaseos <sup>1)</sup>
Kuiva-aine, g/kg	221	321	261
Kuiva-aineessa, g/kg			
Tuhka	103	67,2	88,5
Raakavalkuainen	171	118	150
NDF	518	457	494
Tärkkelys	0	160	64,3
Sokeri	16,0	27,9	20,8
Etanoli	3,45	6,27	4,60
Maitohappo	66,9	39,0	55,7
Muurahaishappo	13,3	9,6	11,8
Etikkahappo	24,2	12,4	19,5
Propionihappo	1,07	1,87	1,39
Voihappo	6,49	0,13	3,95
Isovoihappo	0,41	0	0,24
Valeriaanahappo	0,15	0	0,09
Isovaleriaanahappo	0,68	0,03	0,42
Kapronihappo	1,39	0,08	0,87
VFA yhteensä	34,4	14,5	26,4
Ammoniumtyppi, g/kg N	97,2	63,6	83,8
Liukoinen typpi, g/kg N	553	614	577
pH	4,18	3,93	4,08
D-arvo	645	615	633
Rehuarvo			
ME, MJ/kg ka	10,3	9,5	10,0
OIV, g/kg ka	81,0	77,0	79,4
PVT, g/kg ka	51,0	34,0	44,2

<sup>1)</sup> Nurmikokoviljaseos sisälsi 40 % vehnäkaurekokoviljasäilörehua, NDF = neutraalidetergenttikuitu, VFA = haihtuvat rasvahapot, ME = muuntokelpoinen energia, OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT = pötsin valkuaistase

### 5.1.2 Väki rehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvo

Matalan valkuaistason väki rehun raakavalkuaispitoisuus oli 115 g/kg ka ja tavanomaisen valkuaistason väki rehun 166 g/kg ka (taulukko 3). OIV-pitoisuus oli tavanomaisen valkuaistason väki rehussa noin 15 g/kg ka suurempi. Tavanomaisen valkuaistason väki rehussa oli lisäksi enemmän rasvaa, NDF-kuitua ja fosforia kuin matalan valkuaistason väki rehussa. Väki rehujen energiasisällöt olivat väki rehuissa samat. PVT oli matalan valkuaistason väki rehussa negatiivinen ja tavanomaisen valkuaistason väki rehussa positiivinen.

Taulukko 3. Väkirehujen koostumus ja rehuarvo.

Valkuaistaso	Matala RV	Tavanomainen RV
Kuiva-aine, g/kg	882	884
Kuiva-aineessa, g/kg		
Tuhka	62,0	62,0
Raakavalkuainen	115	166
Raakarasva	20,8	24,3
Raakakuitu	105	108
NDF	244	257
Ca	8,0	8,0
P	3,0	4,5
Mg	3,5	3,5
Na	4,0	4,0
A-vitamiini, IU	7000	7000
D3-vitamiini, IU	2000	2000
E-vitamiini, mg/kg	32,0	32,0
Rehuarvo		
ME, MJ/kg ka	12,2	12,0
OIV, g/kg ka	95,2	111
PVT, g/kg ka	-18,8	19,5

RV = raakavalkuainen, NDF = neutraalidetergenttikuitu, Ca = kalsium, P= fosfori, Mg = magnesium, Na = natrium, ME = muuntokelpoinen energia, OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT = pötsin valkuaiaste

### 5.1.3 Dieettien rehuarvot

Pelkkää nurmisäilörehua sisältäneissä dieeteissä raakavalkuaispitoisuudet olivat suuremmat kuin nurmikoviljaseosta sisältäneissä dieeteissä. Pienin dieetin raakavalkuaispitoisuus oli dieetissä, jossa karkearehuna oli nurmikoviljaseos ja valkuaiaste matala. Suurin raakavalkuaispitoisuus oli dieetissä, joka sisälsi nurmisäilörehua ja tavanomaisen valkuaiasteon väkirehua. Dieettien energiasisällöt olivat lähes samat, karkearehuna pelkkää nurmisäilörehua sisältäneissä dieeteissä energiapitoisuus oli hieman suurempi (taulukko 4). Tavanomaisen valkuaiasteon väkirehua sisältäneissä dieeteissä, OIV-pitoisuus oli keskimäärin 6 g/kg ka suurempi kuin matalan valkuaiasteon väkirehua sisältäneissä dieeteissä. PVT oli kaikissa dieeteissä positiivinen. Pienin pötsin valkuaiaste oli dieetissä, jossa karkearehuna oli nurmikoviljaseos ja valkuaiaste matala. Suurin pötsin valkuaiaste oli dieetissä, joka sisälsi nurmisäilörehua ja tavanomaisen valkuaiasteon väkirehua.

Taulukko 4. Karkea- ja väkirehuista koostettujen neljän dieetin raakavalkuaispitoisuus ja rehuarvo.

Karkearehu	Nurmi	Nurmi	Nurmi- kokoviljaseos	Nurmi- kokoviljaseos
Väkirehu <sup>1)</sup>	Matala RV	Tavanomainen RV	Matala RV	Tavanomainen RV
RV, g/kg ka	149	169	136	156
Rehuarvo				
ME, MJ/kg ka	11,1	11,0	10,9	10,8
OIV, g/kg ka	86,7	93,0	85,7	92,0
PVT, g/kg ka	23,1	38,4	19,0	34,3

<sup>1)</sup> Dieettien väkirehuprosentti 40, RV = raakavalkuainen, ME = muuntokelpoinen energia, OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT = pötsin valkuaistase

## 5.2 Rehujen syönti ja energiatase

Karkearehulla oli vaikutusta säilörehun kuiva-ainesyöntiin ( $p < 0,05$ ) ja kokonaissyöntiin ( $p < 0,05$ ) (taulukko 5). Kokoviljan lisääminen dieettiin paransi säilörehusyöntiä 0,9 kg ka ja kokonaissyöntiä 1,1 kg ka päivässä verrattuna dieettiin, jossa karkearehuna oli pelkkä nurmisäilörehu. Korkeammalla valkuaistasolla säilörehusyönti ( $p < 0,001$ ) ja kokonaissyönti ( $p < 0,001$ ) olivat 0,6 kg ka suuremmat kuin matalalla valkuaistasolla. Korkeammalla valkuaistasolla myös raakavalkuaisen, OIV:n ja NDF:n ja energian saannit sekä PVT olivat merkitsevästi suuremmat kuin matalalla valkuaistasolla. Karkearehulla ei ollut vaikutusta ravintoaineiden saantiin, ainoastaan PVT oli korkeampi, kun karkearehuna oli pelkkä nurmisäilörehu ( $p < 0,001$ ).

Karkearehuperäisen NDF:n osuus kuiva-ainesyönnistä oli noin 30 % kaikissa dieeteissä. Eri dieettien välillä ei ollut eroa koelehmien elopainon muutoksessa. Karkearehun ollessa pelkkä nurmisäilörehu, korjattu energiatase laski negatiiviseksi ollen 7,6 MJ/pv pienempi kuin nurmikokoviljaseosta käytettäessä ( $p < 0,05$ ). Valkuaistasojen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa.

Taulukko 5. Rehujen syönti, ravintoaineiden saanti, elopainon muutos ja energiatase.

	Karkearehu			Valkuaistaso			Tilastolliset merkitsevyydet	
	Nurmi	Nurmi-kokoviljaseos	SEM	Matala RV	Tavanomainen RV	SEM	Karkearehu	Valkuainen
Syönti, kg ka/pv								
Säilörehu	12,1	13,0	0,31	12,2	12,8	0,22	0,02	< 0,001
Väkirehu	8,6	8,8	0,26	8,7	8,7	0,18	0,60	0,44
Kokonaissyönti	20,7	21,8	0,56	20,9	21,5	0,40	0,048	< 0,001
Väkirehun osuus, g/kg ka	419	404	8,7	419	404	6,3	0,18	< 0,001
Ravintoaineiden saanti								
Raakavalkuainen, g/pv	3280	3172	66,6	2956	3497	47,8	0,22	< 0,001
NDF, g/pv	8400	8833	180,3	8398	8835	129,0	0,07	< 0,001
OIV, g/pv	1867	1908	38,7	1795	1979	27,6	0,42	< 0,001
PVT, g/kg ka	30	20	0,43	17	33	0,33	< 0,001	< 0,001
ME korjaamaton, MJ/pv	229	236	4,7	230	235	3,4	0,22	< 0,001
ME korjattu, MJ/pv	217	223	4,0	217	223	2,9	0,26	< 0,001
Karkearehun NDF, % <sup>1)</sup>	30	30	0,45	30	31	0,32	0,56	< 0,001
Elopainon muutos, kg <sup>2)</sup>	65,6	56,7	7,0	57,6	64,7	6,7	0,31	0,48
Energiatase, MJ/pv								
Korjaamaton	7,1	16,3	2,8	13,0	10,5	2,1	0,01	0,09
Korjattu	- 4,6	3,0	2,5	- 0,46	- 1,1	1,9	0,02	0,65

<sup>1)</sup> Karkearehuperäisen NDF:n osuus kuiva-ainesyönnistä, %, <sup>2)</sup> Elopainon muutos kiloina koko koeaikana, RV = raakavalkuainen, NDF = neutraalidetergenttikuitu, OIV = ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, PVT = pötsin valkuaistase, ME = muuntokelpoinen energia



### 5.3 Maitotuotos, maidon pitoisuudet ja rehujen hyväksikäyttö

Karkearehutyypillä ei todettu olevan vaikutusta maitotuotokseen tai maidon koostumukseen (taulukko 6). Korkeamman valkuaistason väkirehulla kaikki tuotostulokset ja pitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia kuin matalalla valkuaistasolla. Maitotuotos ( $p<0,001$ ) ja EKM ( $p<0,001$ ) olivat tavanomaisen valkuaistason väkirehulla 1,4 kg suuremmat kuin matalan valkuaistason väkirehulla. Korkeampi valkuaistaso vaikutti maidon koostumukseen siten, että valkuais- ( $p<0,001$ ) ja ureapitoisuus ( $p<0,001$ ) kasvoivat, mutta rasvapitoisuus ( $p<0,05$ ) pieneni.

Tyypen hyväksikäyttö maidontuotantoon (Maidon N/N saanti) oli matalammalla valkuaistasolla suurempi kuin korkeammalla valkuaistasolla ( $p<0,001$ ). Suhde ei ollut riippuvainen karkearehusta. Nurmikokoviljaseoksella muuntokelpoisen energian käyttö tuotettua EKM-kiloa (ME MJ/EKM kg) kohti oli suurempi ( $p<0,05$ ) kuin nurmisäilörehulla. Valkuaistasolla ei ollut vaikutusta energian hyväksikäyttöön. Rehun kuiva-aineen hyväksikäyttö maidontuotantoon (EKM kg/kg ka) oli suurempi karkearehun ollessa pelkkä nurmisäilörehu ( $p<0,05$ ) ja valkuaistason ollessa tavanomainen ( $p<0,05$ ).

### 5.4 Yhdysvaikutukset

Taulukoihin 7 ja 8 on koottu yhdysvaikutukset, joissa tilastollinen merkitsevyys oli vähintään suuntaa antava ( $p<0,1$ ). Taulukossa 8 on esitetty myös kokonaissyöntiä, maitotuotosta ja EKM-tuotosta kuvaavat tulokset, joissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia blokin ja valkuaistason välillä.

Valkuaislisä nosti lehmien säilörehu- ja kokonaissyöntiä enemmän, kun dieetin karkearehuna oli nurmikokoviljaseos ( $p<0,1$ ) (taulukko 7). Valkuaislisä nosti myös NDF-saantia ( $p<0,1$ ), korjattua ME-saantia ( $p<0,1$ ) ja maidon ureapitoisuutta ( $p<0,05$ ) nurmikokoviljaseoksella enemmän verrattuna pelkästään nurmisäilörehua sisältävään karkearehuun. EKM-tuotoksen osalta tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta ei havaittu. Valkuaislisän kohdentamisella eri lehmäryhmille havaittiin olleen tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus raakavalkuaisen saannin ja OIV-saannin osalta (taulukko 8). Lisävalkuainen nosti raakavalkuaisen ( $p<0,01$ ) ja OIV:n saantia ( $p<0,05$ ) keskilaktaatiokauden lehmillä enemmän kuin ensikoilla ja loppulaktaatiokauden lehmillä. Rehun hyväksikäytössä (maidon N/N saanti, ME MJ/EKM kg ja EKM kg/kg

ka) ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia karkearehun ja valkuaistason sekä blokin ja valkuaistason välillä.

Taulukko 6. Maitotuotos, maidon pitoisuudet ja rehujen hyväksikäyttö.

	Karkearehu			Valkuaistaso			Tilastolliset merkitsevyydet	
	Nurmi	Nurmi-kokoviljaseos	SEM	Matala RV	Tavanomainen RV	SEM	Karkearehu	Valkuainen
Tuotos								
Maito, kg/pv	27,7	27,6	0,43	26,9	28,3	0,32	0,89	< 0,001
EKM, kg/pv	29,9	30,3	0,41	29,4	30,8	0,32	0,53	< 0,001
Valkuainen, g/pv	982	992	14,5	950	1023	10,9	0,59	< 0,001
Rasva, g/pv	1285	1309	19,4	1275	1319	15,0	0,34	< 0,001
Pitoisuudet								
Valkuainen, g/kg	35,7	36,3	0,26	35,6	36,5	0,19	0,10	< 0,001
Rasva, g/kg	47,2	48,1	0,56	48,1	47,2	0,42	0,18	0,02
Urea, mg/100 ml	22,4	21,2	0,60	18,1	25,5	0,47	0,14	< 0,001
Rehujen hyväksikäyttö								
Maidon N/N saanti	0,301	0,303	0,0050	0,316	0,288	0,0038	0,75	< 0,001
ME MJ/EKM kg	5,02	5,28	0,082	5,16	5,15	0,062	0,02	0,84
EKM kg/kg ka	1,45	1,36	0,024	1,39	1,42	0,018	0,01	0,03

RV = raakavalkuainen, EKM = energiakorjattu maitotuotos, N = typpi, ME = muuntokelpoinen energia

Taulukko 7. Karkearehun ja valkuaistason yhdysvaikutukset.

Karkearehu	Nurmi	Nurmi	Nurmi- kokoviljaseos	Nurmi- kokoviljaseos	SEM	Tilastolliset merkitsevyydet
Valkuainen	Matala RV	Tavanomainen RV	Matala RV	Tavanomainen RV		karkearehu* valkuainen
Säilörehusyönti, kg ka/pv	11,8	12,3	12,6	13,4	0,32	0,05
Kokonaissyönti, kg ka/pv	20,5	20,9	21,4	22,2	0,43	0,07
NDF-saanti, g/pv	8226	8574	8569	9096	183,5	0,05
ME-saanti korjattu, MJ/pv	214	219	219	227	4,1	0,06
EKM, kg/pv	29,4	30,5	29,4	31,1	0,45	0,19
Ureapitoisuus, mg/100 ml	19,4	25,4	16,9	25,6	0,67	0,001

RV = raakavalkuainen, NDF = neutraalidetergenttikuitu, ME = muuntokelpoinen energia

Taulukko 8. Blokin ja valkuaistason yhdysvaikutukset.

Blokki	Ensikko	Ensikko	Keskilaktaatio	Keskilaktaatio	Loppulaktaatio	Loppulaktaatio	SEM	Tilastolliset merkitsevyydet
Valkuainen	Matala RV	Tavanomainen RV	Matala RV	Tavanomainen RV	Matala RV	Tavanomainen RV		blokki* valkuainen
Kokonaissyönti, kg ka/pv	19,3	19,8	22,6	23,4	20,9	21,4	0,67	0,27
RV-saanti, g/pv	2711	3213	3186	3804	2969	3474	104,9	0,006
OIV-saanti, g/pv	1657	1827	1944	2159	1784	1952	60,5	0,04
Maito, kg/pv	27,5	28,7	27,7	29,4	25,6	26,9	0,71	0,46
EKM, kg/pv	29,4	30,8	30,2	32,1	27,8	28,9	0,69	0,19

RV = raakavalkuainen, EKM = energiakorjattu maitotuotos, RV-saanti = raakavalkuaisen saanti, OIV-saanti = ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen saanti

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Karkearehujen käymislaatu

Nurmisäilörehun kuiva-ainepitoisuus oli sadekesän sääolosuhteista johtuen matala ja vehnäaurakokoviljasäilörehun kuiva-ainepitoisuus oli kasvuastetavoitteen mukainen. Kotimaisiin tavoitearvoihin nähden karkearehujen kuiva-ainepitoisuudet sijoittuivat alarajalle (300–450 g/kg, Valio Artturi 2018). Kokoviljasäilörehun korjuu suositellaan tehtäväksi taikinatuleentumisvaiheessa pH:n alentamiseen perustuvilla säilöntäaineilla, kuiva-ainepitoisuuden ollessa 300–400 g/kg (Vanhatalo ym. 1999). Etenkin nurmisäilörehussa havaittu suuri haihtuvien rasvahappojen pitoisuus, suuri ammoniumtyppipitoisuus, pieni sokeripitoisuus sekä korkeahko pH olivat viitteitä virhekäymisestä. Maitohapon ja muurahaishapon yhteenlaskettu pitoisuus pysyi karkearehuissa kuitenkin kohtuudessa (tavoitearvo 35–80 g/kg ka, Valio Artturi 2018). Kuidun määrä ja energia-arvot olivat karkearehuissa alhaiset, etenkin vehnäaurakokoviljasäilörehussa (tavoitearvot NDF-kuidulle 500–600 g/kg ka, energia-arvolle nurmisäilörehulla 10,5–10,9 ja kokoviljasäilörehulla 10,8–11,2 MJ/kg ka, Valio Artturi 2018). D-arvot olivat matalalla tasolla molemmissa karkearehuissa. Säilörehun suuri käymishappojen pitoisuus ja NDF-pitoisuus alentavat säilörehun syöntiä. Suuri kuiva-ainepitoisuus ja sulavuus taas ovat syöntiä lisääviä tekijöitä (Huhtanen ym. 2007).

Kasvukausi 2017 oli Suomessa viileä ja sateinen (Ilmatieteen laitos 2019). Savossa saatiin korjattua keskimäärin normaali sato, mutta sääolosuhteiden takia etenkin valkuaispitoisuus ja toisen niiton kuiva-ainepitoisuus jäivät koko maassa keskimäärin normaalin tason alapuolelle (Nyholm 2019). Kokeen karkearehujen valkuaisarvot olivat hyvät, vaikka niiden säilönnällinen laatu oli hieman tavoitearvoja heikompi. Kokoviljasäilörehun raakavalkuaispitoisuus asettui tavoitearvojen (90–160 g/kg ka, Valio Artturi 2018) sisälle ja nurmisäilörehussa raakavalkuaista oli jopa yli tavoitearvojen (130–160 g/kg ka, Valio Artturi 2018). Nurmisäilörehun jopa turhan korkea raakavalkuaispitoisuus on saattanut olla haitaksi säilöntäprosessille. Hajotessaan valkuainen emäksisenä aineena puskuroi pH:n laskua eli jarruttaa pH:ssa tapahtuvia muutoksia (McDonald ym. 2011, s. 58). Kokoviljasäilörehun melko matala valkuaispitoisuus sopi hyvin kokeen tavoitteisiin. Myös karkearehujen OIV-pitoisuus oli tavoitearvojen (71–88 g/kg ka, Valio Artturi 2018) sisällä.

## 6.2 Dieetin karkearehun ja väkirehutason vaikutus

### 6.2.1 Rehujen syönti ja energiatase

Vehnäaurakokoviljasäilörehu lisäsi karkearehun syöntiä. Lehmä kompensoi kokoviljasäilörehun tyypillisesti matalaa energiapitoisuutta ja sulavuutta lisäämällä syöntiään (Phipps ym. 1995, Kykkänen ym. 2014, s. 9). Kokoviljasäilörehun lisääminen ruokintaan alensi rehuannoksen sulavuutta jo ennestään matalan nurmirehun sulavuuden lisäksi. Sulavuuteen vaikuttaa merkittävimmin säilörehun korjuuajankohta (Rinne ja Sairanen 2010). Korjuuhetkellä kokoviljan kasvuaste oli ehtinyt jo myöhäiselle taikinatuleentumisvaiheelle, mikä saattoi heikentää sen sulavuutta ja energia-arvoa. Wallstenin ja Martinssonin (2009) mukaan ohrakokoviljasäilörehun kasvuston vanhetessa kuiva-ainesyönti, orgaanisen aineen sulavuus ja NDF-saanti heikkenevät. Samoin heikkenevät myös lehmien maito- ja EKM-tuotos sekä maidon valkuaispitoisuus. Myös nurmisäilörehulla korjuuajankohta saattoi jäädä liian myöhäiseksi ja vaikuttaa negatiivisesti rehuarvoon. Kokoviljasäilörehun heikosta rehuarvosta huolimatta sen käytön on todettu lisäävän seoksen syöntiä, kunhan kokoviljalla ei kateta yli puolta karkearehun kuiva-ainesaannista (Sutton ym. 1997).

Kokoviljasäilörehuruokinnalla NDF-kuidun saanti oli suurempaa kuin nurmisäilörehuruokinnalla. Kokoviljasäilörehu on nurmisäilörehua kortisempaa, mikä vaikuttaa merkittävästi rehun sulavuuteen (Sutton ym. 1997, Kennelly ja Weinberg 2003). Lehmien korjattu energiatase oli negatiivinen, kun dieetin karkearehuna oli pelkkä nurmisäilörehu. Negatiivisen energiataseen perusteella koelehmien olisi pitänyt laihtua nurmisäilörehuruokinnalla, mutta todellisuudessa painot nousivat kokeen aikana. Rehutaulukoiden mukainen tasekorjaus osoittautui tämän kokeen kannalta liian suureksi. Elopainomuutoksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa.

Nurmisäilörehuruokinnalla PVT oli 10 g/kg ka suurempi kuin kokoviljasäilörehuruokinnalla. Niukemmalla valkuaisruokinnalla PVT oli 17 g/kg ka. Säilörehun PVT:n lisääntyessä typen hyväksikäyttö heikkenee (Khalili ym. 2005). Typpi ei oletettavasti ollut mikrobivalkuaisyynteesiä rajoittava tekijä matalimmallakaan valkuaisruokintatasolla (Christensen ym. 1993). Valkuaisen saannissa ei ollut eroa karkearehujen välillä, vaikka nurmikokoviljaseoksen valkuaispitoisuus oli selvästi nurmisäilörehua pienempi. Nurmikokoviljasäilörehuseoksen suurempi syönti kompensoi valkuaisen pitoisuuseroa.

Heikosti sulavassa karkearehussa kuituvaikutus on suurempi kuin hyvin sulavassa. Huonosti sulavasta säilörehusta ja viljasta koostuvassa dieetissä karkearehuperäisen NDF-kuidun ohjearvo on pienempi kuin dieetissä, jossa säilörehu on hyvin sulavaa ja käytössä sulavaa kuitua sisältävä väkirehu. Ensimmäisessä tilanteessa pötsin toiminta on normaalia noin 30 %:n karkearehuperäisen NDF-kuidun osuudessa, mutta toisessa tilanteessa osuudeksi vaaditaan noin 40 % (Huhtanen 2003). Tässä kokeessa karkearehuperäisen NDF-kuidun osuus oli kaikissa dieeteissä noin 30 %, mikä on kokeessa käytetyillä rehuvaihtoehtojilla pötsin toiminnan kannalta riittävä.

Kokeen toteutuksen aikana nurmisäilörehun virheikäminen oli havaittavissa myös aistinvaraisesti rehun tunkkaisesta tuoksusta sekä runsaasta puristenesteen erittymisestä päätellen. Rehun virheikäminen vähentää rehun syöntiä ja pötsin mikrobivalkuaisen synteesiä, millä saattoi tässä kokeessa olla vaikutusta tuloksiin (Huhtanen ym. 2003, Huhtanen ym. 2007). Karkearehujen korkeat käymishappopitoisuudet laskivat mahdollisesti kokeen lehmien maitotuotosta, EKM-tuotosta sekä maidon valkuais- ja rasvapitoisuutta, kuten ovat havainneet mm. Huhtanen ym. (2003). Energiapitoisuus ja OIV-pitoisuus olivat nurmirehussa ja kokoviljasäilörehussa likipitään samat. Rehujen keskinäisen tasaväkisyyden vuoksi koe saattoi jättää mittaamatta asetettuja tavoitteita. Parempilaatuisella nurmisäilörehulla erot blokkien tai karkearehujen välillä olisivat saattaneet olla selkeämmät ja kokeen löydökset erilaisia.

Syönti ja energian saanti lisääntyivät tässä kokeessa valkuaislisän myötä. Rypsi Valkuaislisästä saatavan lypsylehmälle sopivan aminohappokoostumuksen ansiosta energian tarve kasvaa, mikä lisää osaltaan kuiva-aineen syöntiä (Huhtanen ym. 2011). Tavanomaisen valkuaiaston pienempi väkirehuprosentti oli seurausta suuremmasta karkearehun syönnistä. Matalan valkuaiaston kokoviljasäilörehudieetillä ruokinnan OIV-pitoisuus oli 85 g/kg ka, joka on yleiseen käytäntöön verrattuna todella matala. Tavanomaisesti lypsykarjatiljoilla käytetään yli 95 g OIV/kg ka valkuaiastoja ja huipputuotoksia tavoittelevilla tiloilla jopa noin 100 g OIV/kg ka valkuaiastoja (Huhtamäki 2019, s. 20). Raakavalkuaisen saanti oli tavanomaisen valkuaiaston ruokinnalla keskimäärin 550 g/pv suurempi kuin matalalla valkuaiastolla. Raakavalkuaisen pitoisuuden ollessa dieetissä yli 120 g/kg ka, pötsimikrobien typensaanti turvataan eikä valkuaisen puute vaikuta vielä lehmän toimintakykyyn (Kröber ym. 2000). Kaikissa dieeteissä tämä ohjearvo ylittyi.

Virtsan typpipitoisuus korreloi voimakkaasti ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden kanssa (Huhtanen ym. 2008). Typen saannin ja erityksen välillä on positiivinen lineaarinen yhteys siihen saakka, kunnes typen saanti saavuttaa 400 g/pv. Kun typen saanti nousee tätä tasoa suuremmaksi, typen erityks kasvaa eksponentiaalisesti virtsaan ja heikkenee lineaarisesti maitoon ja sontaan. Typen hyväksikäytön ja ympäristön kannalta olisi suositeltavaa käyttää ruokinnan raakavalkuaistasona noin 150 g/kg ka, mikä vähentää 200 g/kg ka raakavalkuaistason verrattuna vuotuista typen eritystä sontaan noin 20 % ja virtsaan noin 65 % (Castillo ym. 2000).

Toisinaan arempien tai heikompien koelehmien päivittäisten yksilöllisten väkirehuannosten täyttymistä oli valvottava ja ajettava lehmiä väkirehukioskeihin. Ennen kokeen aloittamista uudet väkirehukioskit oli juuri asennettu paikoilleen ja ne olivat lehmille vielä vieraita. Ongelmallista oli kioskien sijoittuminen koeosaston kapealle käytävälle, jossa dominoivat lehmäyksilöt pystyivät hätistelemään heikompia pois kioskin lähetyviltä. Yksittäisten koelehmien rajoittunut pääsy kioskille oli kuitenkin satunnaista eikä esimerkiksi tietyn lehmäryhmän kohdalla voitu havaita säännöllistä poikkeamaa muihin ryhmiin verrattuna, mikä olisi voinut vaikuttaa kokeen tuloksiin tai blokkien välisiin eroihin. Väki rehukioskin kerta-annosta suurennettiin kokeen aikana, mikä vaikutti välittömästi hätäisimpien ja arimpien lehmien päiväannoksen täyttymiseen positiivisesti. Väki rehuanokset täytyivät valvonnan ansiosta eikä väki rehua jäänyt koelehmillä merkittäviä määriä saamatta.

### 6.2.2 Maitotuotos, maidon pitoisuudet ja rehujen hyväksikäyttö

Karkearehulla ei todettu olevan vaikutusta lehmien maitotuotokseen eikä valkuaistuotokseen. Kokoviljasäilörehun vaikutuksista lehmien maitotuotokseen on ristiriitaisia tutkimustuloksia. Käytettäessä kokoviljasäilörehua seoksena nurmirehun kanssa, on maitotuotoksen todettu pysyvän vähintään samalla tasolla tai jopa kasvavan verrattaessa pelkkään nurmirehupohjaiseen ruokintaan. Lehmät pysyvät terveinä myös pelkällä kokoviljasäilörehuruokinnalla, mutta tällöin maitotuotoksen on todettu heikkenevän (Jaakkola ym. 2009). Ruokinnan kokoviljasäilörehun osuutta ei ole kuitenkaan perusteltua nostaa yli 40 %:iin, sillä toisaalta dieetin kokoviljasäilörehumäärän lisäämisen on todettu alentavan maitotuotosta lineaarisesti (Ahvenjärvi ym. 2006). Jaakkola ym. (2009) totesivat ureapitoisuuden laskevan kokoviljasäilörehun osuuden lisääntyessä säilörehuseoksessa. Maidon ureapitoisuudessa



ei kuitenkaan ollut tässä kokeessa eroa nurmikoviljaseoksella ja nurmisäilörehuruokinnalla huolimatta dieettien raakavalkuaispitoisuuksien erosta. Taustalla oli tässä kokeessa kokoviljasäilörehun suurempi syönti, mikä heijastui myös raakavalkuaisen saantiin ja ureapitoisuuteen.

Valkuaislisä kasvatti maitotuotosta, energiakorjattua maitotuotosta sekä valkuais- ja rasvatuotosta. Valkuaislisällä oli valkuaispitoisuutta suurentava ja rasvapitoisuutta alentava vaikutus. Valkuaistuotoksen lisäys korkeammalla valkuais- ja rasvapitoisuudella selittyi osittain energian saannin ja osittain aminohappojen saannin lisääntymisellä (Vanhatalo ym. 1999, Huhtanen 2010). Samansuuntaisia valkuaislisästä aiheutuvia vaikutuksia tuotantotuloksiin ovat todenneet aiemmin esimerkiksi Heikkilä ym. (1995) Khalili ja Sairanen (2000), Huhtanen ja Rinne (2007) sekä Auldist ym. (2016).

Kokeessa lehmät saavuttivat kohtuullisen tuotostason todella matalalla dieetin valkuais- ja rasvapitoisuudella. Dickhoefer ym. (2018) havaitsivat, että vähän pötsihajoavaa raakavalkuaista ja runsaasti nopeasti hajoavia hiilihydraatteja sisältävä väkirehu alensi hieman dieetin sulavuutta ja lehmien maitotuotosta, mutta paransi merkittävästi typen hyväksikäytön tehokkuutta. Myös Aglen ym. (2010) mukaan pötsihajoavan valkuaisen pitoisuuden vähentäminen dieetissä paransi pötsin ammoniakkitypen hyväksikäyttöä maidon proteiiniksi, kun käytössä oli rypsi- ja soijavalkuaislisä. Rypsi on yleisesti Pohjoismaissa käytetty valkuaislisä ja täysin kilpailukykyinen maailmanlaajuisesti suosituimman valkuaisrehun, soijan, rinnalla (Huhtanen ym. 2011). Tässä kokeessa rypsi- ja soijavalkuaislisästä saatu valkuaisvaste oli keskimäärin 134 g maidon valkuais- ja rasvapitoisuutta/kg lisäys raakavalkuaisen saannissa. Tulos on todella lähellä Huhtasen ym. meta-analyysin (2011) rypsillemäärää valkuaisvastetta, 136 g maidon valkuais- ja rasvapitoisuutta/kg lisäys raakavalkuaisen saannissa, ruokinnan pohjautuessa säilörehuun.

Dieetin raakavalkuaispitoisuuden kasvaessa typen hyväksikäyttö maidontuotantoon heikkenee, mikä havaittiin myös tässä kokeessa maidon sisältämän typen ja rehun sisältämän typen suhteen ollessa suurempi matalalla valkuais- ja rasvapitoisuudella (Grings ym. 1991). Valkuaislisä alensi dieetin typen hyväksikäyttöä 2,8 prosenttiyksikköä. Matalalla valkuais- ja rasvapitoisuudella typen hyväksikäyttö oli yli 30 % tässä kokeessa, kun se keskimäärin suomalaisilla lypsykarjatilastoilla oli vuonna 2018 26,6 % (Huhtamäki 2019, s. 19). Kokoviljan käyttö ei kokeen ennako-odotuksesta poiketen parantanut typen

hyväksikäyttöä. Poikimakerralla tai laktaatiovaiheella ei ollut vaikutusta typen hyväksikäyttöön.

Muuntokelpoisen energian käyttö tuotettua EKM-kiloa kohti oli nurmikoviljaseoksella 5,28 MJ, joka on kotimaiseen vuoden 2018 tasoon verrattuna alhainen (Huhtamäki 2019, s. 19). Blokkien välillä ei ollut eroa energian hyväksikäytössä. Yhdellä kilolla rehun kuiva-ainetta tuotettiin tässä kokeessa keskimäärin 1,41 energiakorjattua maitokiloa, mikä on kotimaisiin tuotantotuloksiin nähden keskitasoa (Huhtamäki 2019, s. 13). Ensikoilla rehuhyötysuhde oli 1,43 kg EKM, keskilaktaatiossa 1,46 kg EKM ja loppulaktaatiossa 1,33 kg EKM syötyä kuiva-ainekiloa kohti. Dieettien matalat energiapitoisuudet alensivat kuiva-ainesyöntinä mitattua rehuhyötysuhdetta. Lisäksi nurmikoviljasäilörehuseoksen suuri syönti pienensi rehuhyötysuhdetta verrattaessa pelkkään nurmisäilörehuun.

Maidon ureapitoisuus oli tässä kokeessa suurempi korkeamman valkuaikeaston kuin matalan valkuaikeaston ruokinnalla, kuten myös Huhtasen ja Rinteen (2007), Aglen ym. (2010) ja Hynesin ym. (2016) kokeissa. Alle 20 mg/100 ml ureatasoja maidossa pidetään merkinä liian alhaisesta valkuaikeasosta ruokinnassa (Ahvenjärvi ym. 2005). Tässä kokeessa maidon ureapitoisuus oli kuitenkin vielä hyväksyttävällä tasolla. Urean erityksen on tiedetty jo pitkään olevan kiinteästi yhteydessä ruokinnan raakavalkeaisen määrään ja sen hyväksikäyttöön. Kun ruokinnassa typen määrä kasvaa, ureapitoisuus veressä ja maidossa lisääntyy. Kynnysarvon ylittyessä, ylimääräinen typpi alkaa erittyä ureana virtsan kautta. Alhainen ureapitoisuus maidossa viittaa pötsihajoavan valkeaisen puutteeseen ja riittämättömään mikrobivalkeaisyynteesiin (Broderick ja Murray 1997). Toisaalta maidon alhainen ureapitoisuus indikoi typen parempaa hyväksikäyttöä pötsissä ja elimistön kudoksissa. Lisäksi maidon ureapitoisuus jää tyypillisesti alhaisemmaksi rypsi-valkeaislisällä kuin esimerkiksi soijapapu-valkeaislisällä (Shingfield ym. 2003, Vanhatalo ym. 2003).

Valkeaisen käytön tehokkuuden parantaminen vähentää ammoniakkipäästöjä ympäristöön. Tulevaisuudessa valkeaisen hyväksikäyttöä analysoivassa tutkimuksessa tulee tämän perusteella keskittyä yhä tehokkaammin dieetin väkirehulisän koostumukseen. Lisäämällä lypsylehmän tarpeen mukaisia aminohappoja dieettiin sekä ruokinnan raakavalkeaispitoisuutta alentamalla voidaan vähentää typen hävikkiä lehmän eritteisiin, etenkin virtsaan. Samalla voidaan säilyttää lehmän tuotostehokkuus (Dinn ym.

1998, O'Connor ym. 1993, Rulquin ja Vérité 1996). Ennen kuin valkuaisruokintatasoja saadaan merkittävästi pienennettyä nykyisestä, ei aminohappolisien käyttöönotto kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa. Ruokinnan aminohappolisiä on tutkittu 2000-luvulla runsaasti lypsykarjatuotannon päästöjen vähentämiseksi sekä tuotostason ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. Vanhatalo ym. (2003) mukaan kaseiini-aminohappolisän ja glukoosilisän avulla voidaan parantaa lypsylehmien ravinteiden, etenkin typen, hyväksikäyttöä. Lisäksi aminohappolisillä, etenkin histidiinilisällä, voidaan vaikuttaa maito- ja valkuaisuotokseen sekä maidon laktoosi- ja rasvapitoisuuksiin ruokinnan perustuessa säilörehuun (Vanhatalo ym. 1999).

### 6.3 Yhdysvaikutukset

#### 6.3.1 Karkearehun ja valkuaisason yhdysvaikutus

Lisävalkuainen nosti lehmien säilörehu -ja kokonaissyöntiä, NDF- ja ME-saantia sekä maidon ureapitoisuutta enemmän, kun dieetin karkearehuna oli nurmikoviljasäilörehuseos verrattuna pelkkään nurmisäilörehuun. NDF- ja ME-saannin kasvu selittyy syönnin lisääntymisellä (Huhtanen ym. 2011). Kun syönti kasvaa, myös ravintoaineiden saanti kasvaa. Vaikka NDF-saanti oli nurmikoviljasäilörehuseoksella suurempi, lisävalkuainen nosti seoksen syöntiä enemmän kuin pelkän nurmisäilörehun. Pötsiin mahtui kuitua ilman, että se tuli rajoittavaksi tekijäksi kokeen rehuilla. Pötsin täyteisyys ei ollut siis syöntiä rajoittava tekijä tässä kokeessa. Ilmeisesti kokoviljasäilörehudieetillä valkuaisaanti oli nurmisäilörehudieettiä rajoittavampi tekijä, jolloin lisävalkuaisesta saatava hyöty oli kokoviljasäilörehuruokinnalla nurmisäilörehuruokintaa suurempi.

Lisävalkuaisen vasteessa ei ollut eroa karkearehujen välillä eli EKM-tuotos oli karkearehudieeteillä sama. Tämän mukaisesti lisäsyönnin kautta saatu energia ei ohjautunut maidontuotantoon vaan saatu energia ohjautui joko kudosvarastoihin tai sulatustappioihin. Tilastollisesti merkitsevää karkearehu\*valkuainen yhdysvaikutusta ei havaittu myöskään maitotuotoksen, maidon valkuaisuotoksen tai -pitoisuuden, maidon rasvatuotoksen tai -pitoisuuden, OIV-saannin, energiataseen tai elopainon muutoksen suhteen (p-arvot>0,1).

### 6.3.2 Blokin ja valkuaistason yhdysvaikutus

Lehmäryhmän ja valkuaistason välillä ei todettu yhdysvaikutusta maitotuotoksessa tai typen hyväksikäytössä. Valkuaistuotosvasteet olivat ensikkoblokissa 126 g, keskilaktaatioblokissa 135 g ja loppulaktaatioblokissa 145 g maidon valkuaista /kg lisäys raakavalkuaisen saannissa. Väkirehun lisävalkuaisen kohdentaminen lehmäryhmäkohtaisesti ei ole EKM-tuotoksen perusteella tarpeen. Korkein EKM-tuotos oli keskilaktaatiokauden lehmillä ja pienin loppulaktaatiossa, mutta yhdysvaikutus ei ollut merkitsevä ( $p=0,19$ ). Etenkin loppulypsykauden lehmien suhteen tarvittaisiin lisätutkimusta tätä koetta suuremmalla eläinmäärällä. Merkittävää valkuaisen hyväksikäytön paranemista ei valkuaisruokinnan kohdentamisella tämän kokeen mukaan ole kuitenkaan odotettavissa.

Raakavalkuaistason lehmäryhmäkohtaisen säätelyn etuna voidaan pitää ravintoaineiden kohdentamista tarkemmin lehmien tarpeiden mukaisesti sekä rehun lajittelun vähentymistä (Kidane ym. 2018). Eri tuotosvaiheissa lehmien ravintoainetarve vaihtelee. Ensikoilla ravintoaineiden tarve ohjautuu vielä osittain kasvuun ja kehitykseen, jota voidaan stimuloida valkuaisruokinnalla (Khalili ym. 2006). Tässä kokeessa ensikoiden erityistarpeet eivät kuitenkaan aiheuttaneet eroja tuotosvasteisiin. Laktaatiokauden alussa raakavalkuaisen saanti on usein maidontuotannon rajoittava tekijä, jolloin lehmät voivat ajautua negatiiviseen tyypitaseeseen ja energian puutteeseen (Kalscheur ym. 1999). Keskilaktaatiossa lehmät puolestaan tarvitsevat ravintoaineita huipputuotoksensa saavuttamiseen. Loppulypsykaudella, uuden poikimisen lähestyessä, ongelmia syntyy yleensä eläinten lihomisesta (Kokkonen 2005, s. 40-41).

Dieetin raakavalkuaispitoisuuden muuttamisen tuotosvaiheen mukaan ei ole kuitenkaan todettu vaikuttavan typen hyväksikäyttöön alku- ja keskilaktaatiokauden lehmillä (Kidane ym. 2018). Sillä ei ole myöskään todettu olevan eroa keski- ja loppulaktaatiokauden lehmien maitotuotoksessa, joten raakavalkuaistasoja voitaisiin laskea taloudellisten säästöjen saavuttamiseksi sekä typpipäästöjen vähentämiseksi (Kalscheur ym. 1999). Lehmäksilöiden tuotosten on myös todettu vaihtelevan eri tuotosryhmissä niin merkittävästi, ettei valkuaistasojen kohdentamista lehmäryhmittäin pidetä suositeltavana (Kidane ym. 2018).

Koelehmistä noin 30 % oli Ayrshire-rotuisia. Ensikkoblokissa Ayrshire-rodun edustajia oli 4 lehmää ja Holstein-rodun edustajia 12 lehmää. Keskilaktaatioblokissa rotujakauma oli tasaisempi, Ayrshire-lehmiä oli 8 ja Holstein-lehmiä 13. Loppulaktaatiossa Ayrshire-lehmiä oli vain 1 ja Holstein-lehmiä 7. Rodulla ei kuitenkaan oletettu olevan vaikutusta valkuaisen hyväksikäyttöön tässä kokeessa. Esimerkiksi Hynesin ym. (2016) kokeessa genotyypillä ei todettu olevan vaikutusta typen hyväksikäytön tehokkuuteen. Hynesin ym. (2016) kokeessa oli mukana Holstein-lehmiä ja ruotsalaisen punaisen rodun yksilöitä. Sen sijaan lehmien vähyys loppulaktaatiokauden blokissa on saattanut vaikuttaa kokeen tuloksiin lisäämällä hajontaa sekä heikentämällä tilastollista testivoimaa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Dieetin raakavalkuaispitoisuuden kasvaessa typen hyväksikäytön heikkeneminen maidontuotantoon on yleisesti tiedossa ja sen osoittivat myös tämän kokeen tulokset. Valkuaislisä alensi typen hyväksikäyttöä maidontuotantoon keskimäärin 2,8 prosenttiyksikköä, mutta eläinryhmäkohtaisia eroja ei havaittu. Rypsi Valkuaislisästä saatu valkuaisuotostavaste oli linjassa aiempiin tutkimuksiin nähden, joissa ruokinta on pohjautunut säilörehuun. Lehmien rehun syönti sekä energian ja valkuaisen saanti lisääntyivät tässä kokeessa valkuaislisän myötä. Valkuaislisä kasvatti myös maitotuotosta, energiakorjattua maitotuotosta sekä maidon valkuais- ja rasvatuotosta ja valkuais- ja ureapitoisuutta. Valkuaislisä paransi rehuhyötysuhdetta, mutta sillä ei ollut vaikutusta energian hyväksikäyttöön. Rypsilisän jättäminen pois ruokinnasta pienensi lehmien maitotuotosta ainoastaan noin 5 %, joten lisävalkuaisesta luopuminen ei aiheuttanut mittavaa tuotosromahdusta. Menetys maitotuotoksessa oli jopa oletettua pienempi, kun otetaan huomioon rehujen laatu sekä alhaiset raakavalkuais- ja OIV-pitoisuudet. Koe osoittaa, että suomalaisilla lypsykarjatiloilta on varaa pienentää valkuaisen ruokintatasoja.

Kokeessa ei havaittu yhdysvaikutusta laktaatiovaiheen ja lisävalkuaisruokinnan välillä, joten hypoteesi valkuaisruokinnan kohdentamisesta tuottavimmille lehmille ei saanut tukea. Loppulaktaatioryhmän suhteellisen vähäinen lehmämäärä viittasi siihen, että kokeen tilastotestauksen voima ei riittänyt todentamaan mahdollisia eläinryhmien välisiä valkuaisvaste-eroja. Lisävalkuaisen maitotuotostavaste oli sama nurmikoviljaseoksella ja pelkällä nurmisäilörehulla. Voidaankin olettaa, että dieetin tavanomaisilla

raakavalkuaistasoilla liikuttaessa, lisävalkuaisruokinnasta saatava vaste on karkearehutyypistä riippumaton.

Sulavuus, kuidun määrä ja energia-arvot olivat kokeen molemmissa karkearehuissa alhaiset. Karkearehujen valkuaisarvot olivat kohtuullisella tasolla kotimaisiin tavoitearvoihin nähden, vaikkakin etenkin nurmisäilörehussa oli havaittavissa virheikäymistä. Karkearehujen verrattain myöhäisillä korjuuajankohdilla saattoi olla vaikutusta rehuarvoon. Karkearehulla ei todettu olevan vaikutusta lehmien maitotuotokseen tai valkuaisuotokseen. Kokoviljan lisäämisellä dieettiin ei myöskään todettu saatavan merkillepantavaa etua typen hyväksikäytön tai eläinravitsemuksen kannalta toisen sadon nurmisäilörehuun verrattuna. Energian hyväksikäyttö havaittiin kuitenkin tehokkaammaksi nurmikokoviljasäilörehuseoksella kuin nurmisäilörehudieetillä. Rehuhyötysuhde oli puolestaan suurempi dieetin karkearehuna ollessa pelkkä nurmisäilörehu. Koe osoitti, että käytettäessä kokoviljasäilörehua seoksena nurmisäilörehun kanssa, voidaan parantaa lehmien syöntiä ja samalla ylläpitää saavutettu maitotuotos.

## LÄHTEET

- Agle, M., Hristov, A. N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P. & Vaddella, V. K. 2010. The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93: 1625-1637.
- Ahvenjärvi, S., Joki-Tokola, E., Vanhatalo, A., Jaakkola, S. & Huhtanen, P. 2006. Effects of replacing grass silage with barley silage in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science* 89: 1678-1687.
- Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A. & Jaakkola, S. 2005. Herne lisää lehmien maitotuotosta. Koetoiminta ja käytäntö nro 2, vuosikerta nro 62, s. 6.
- AOAC 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA, USA. 1298 s.
- Auldist, M. J., Marrett, L. C., Greenwood, J. S., Wright, M. M., Hannah, M., Jacobs, J. L. & Wales, W. J. 2016. Milk production responses to different strategies for feeding supplements to grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99: 657-671.
- Beauchemin, K. A. 2018. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101: 4762-4784.

- Bergman, E. N. & Heitmann, R. N. 1978. Metabolism of amino acids by the gut, liver, kidneys and peripheral tissues. *Federation Proceedings* 37: 1228-1232.
- Broderick, G. A. 1992. Relative value of fishmeal versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as sole forage. *Journal of Dairy Science* 75: 174-183.
- Broderick, G. A. 2003. Effects of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 1370-1381.
- Broderick, G. A. & Murray K. C. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science* 80: 2964-2971.
- Burroughs, W., Nelson, D. K. & Mertens, D. R. 1975. Evaluation of protein nutrition by metabolizable protein and urea fermentation potential. *Journal of Dairy Science* 58: 611-619.
- Butler, W. R. 1997. Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81: 2533-2539.
- Cadorniga, C. & Satter, L. D. 1993. Protein energy supplementation of high alfalfa silage diets for early lactation cows. *Journal of Dairy Science* 76: 1972-1977.
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., Barbi, J. H., Sutton, J. D., Kirby, H. C & France J. 2001. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science* 79: 247-253.
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E. & France, J. 2000. A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Feed Science* 9: 1-32.
- Christensen, R. A., Cameron, M. R., Klusmeyer, T. H., Elliott, J. P., Clark, J. H., Nelson, D. R. & Yu, Y. 1993. Influence of amount and degradability of dietary protein on nitrogen utilization by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 3497-3513.
- Clark, J. H., Klusmeyer, T. H. & Cameron, M. R. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75: 2304-2323.
- Colmero, J. J & Broderick, G. A. 2006. Effect of dietary crude concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 1704-1712.

- Daniel, J. B., Friggens, N. C., Van Laar, H., Ferris, C. P. & Sauvant, D. 2017. A method to estimate cow potential and subsequent responses to energy and protein supply according to stage of lactation. *Journal of Dairy Science* 100: 3641-3657.
- Dickhoefer, U., Glowacki, S., Gómez, C. A. & Castro-Montoya, J. M. 2018. Forage and protein use efficiency in dairy cows grazing a mixed grass-legume pasture and supplemented with different levels of protein and starch. *Livestock Science* 216: 109-118.
- Dinn, N.E, Shelford, J. A. & Fisher, L. J. 1998. Use of the Cornell net carbohydrate and protein system and rumen-protected lysine and methionine to reduce nitrogen excretion from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 229-237.
- Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. & Webster, G. 1989. A body condition chart of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68-78.
- Erasmus, L. J., Botha, P. M. & Meissner, H. H. 1994. Effect of protein source on ruminal fermentation and passage of amino acids to the small intestine of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 77: 3655-3665.
- Ferguson, J. D. & Sklan, D. 2005. Effects of dietary phosphorus and nitrogen on cattle production. Teoksessa: Pfeffer, E. & Hristov, A. (toim.). Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: Reducing the Environmental Impact of cattle operations. Oxfordshire, UK: CABI Publishing. s. 233-253.
- Firkins, J. L., Allen, M. S., Oldick, B. S. & St-Pierre, N. R. 1998. Modeling ruminal digestibility of carbohydrates fractions and microbial protein flow to the duodenum. *Journal of Dairy Science* 81: 3350-3369.
- Friedel, K. 1990. Die Schätzung des energetischen Futterwertes von Grobfutter mit Hilfe einer Cellulasemethode. [The estimation of the energetic feeding value of roughages by means of a cellulase method]. *Wissenschaftliche Zeitung Universität Rostock, N-Reihe* 39: 78-86.
- Grings, E. E., Roffler, R. E. & Deitelhoff, D. P. 1991. Response of dairy cows in early lactation to additions of cottonseed meal in alfalfa-based diets. *Journal of Dairy Science* 74: 2580-2587.
- Haacker, K., Block, H.J. & Weissbach, F. 1983. Zur kolorimetrischen Milchsäurebestimmung in silagen mit p-Hydroxydiphenyl. [On the colorimetric determination of lactic acid on silages with p-Hydroxydiphenyl]. *Archiv für Tierernährung* 33: 505-512.



- Heikkilä, T., Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Miettinen, H. 1995. Manipulation of milk composition with forage-based diets. Proceedings of NJF/NMR-Seminar no 252. Milk in nutrition: Effects of production and processing factors. Turku, Finland. NJF-raportti 102: 116-134.
- Hoover, W. H. & Stokes, S. R. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science* 74: 3630-3644.
- Huhtamäki, T. 2019. Ruokinta tuotosseurantatiloilla vuonna 2018. [https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/tuotosseurantakarjojen\\_rehustus\\_vuonna\\_2018\\_huhtamaki.pdf](https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/tuotosseurantakarjojen_rehustus_vuonna_2018_huhtamaki.pdf). ProAgria Keskusten Liitto. ProAgria Maitotulosseminaari 19.3.2019. Julkaistu 2019, viitattu 22.5.2019.
- Huhtanen, P. 2003. Kuidun ja sen laadun merkitys lypsylehmien ruokinnassa. *Maito ja me* 15 (6/2003): 18-19.
- Huhtanen, P. 2010. Märehtijöiden valkuaisarvojärjestelmä (OIV-PVT) uudistuu. <https://journal.fi/sms/article/view/75694/37100>. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.). Maataloustieteiden päivät, Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote nro 26. Julkaistu 31.1.2010, viitattu 12.4.2019.
- Huhtanen, P., Blauwiel, R. & Saastamoinen, I. 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage based diet. *Journal of the Science of food and Agriculture* 77: 213-222.
- Huhtanen, P. & Hetta, M. & Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian Journal of Animal Science* 91: 529-543.
- Huhtanen, P. & Hristov, A. N. 2009. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 3222-3232.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. I., Khalili, H., Jaakkola, S. & Heikkilä, T. 2003. Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. *Livestock Production Science* 81: 57-73.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293-323.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. I., Rinne, M., Kytölä, K. & Khalili, H. 2008. Utilization and partition of dietary nitrogen in dairy cows fed grass-silage based diets. *Journal of Dairy Science* 91: 3589-3599.

- Huhtanen, P. & Rinne, M. 2007. Effect of increasing the milk yield of dairy cows on milk composition. *Journal of Animal and Feed Sciences* 16: 42-58.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758-770.
- Huida, L., Väättäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 215-230.
- Huuskonen, A. & Ojajärvi, P. 2006. Naudanlihantuotanto ja ympäristö. Teoksessa: Tauriainen, S. (toim.). Naudanlihantuotanto. Jyväskylä: Opetushallitus. s. 211-217.
- Hynes, D. N., Stergiadis, S., Gordon, A. & Yan, T. 2016. Effects of crude protein level in concentrate supplements on animal performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *Journal of Dairy Science* 99: 8111-8120.
- Ilmatieteen laitos. 2019. Vuoden 2017 sää. <https://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2017>. Ilmatieteen laitos. Viitattu 3.1.2019.
- Jaakkola, S., Saarisalo, E. & Heikkilä, T. 2009. Formic acid treated whole crop barley and wheat silages in dairy cow diets: effects of crop maturity, proportion in the diet, and level and type of concentrate supplementation. *Agricultural and Food Science* 18: 234-256.
- Jarvis, S. C. 1994. The pollution potential and flows of nitrogen to waters and atmosphere from grassland under grazing. Teoksessa: Ap Dewi, R. F. E., Axford, M., Fayez, M., Marai, M. & Omed, H. M. (toim.). *Pollution in Livestock Production Systems*. Wallingford, UK: CAB International. s. 227-239.
- Kalscheur, K. F., Vandersall, J. H., Erdman, R. A., Kohn, R. A. & Russek-Cohen, E. 1999. Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82: 545-554.
- Kay, R. D., Edwards, W. M. & Duffy, P. A. 2012. *Farm management*. New York: The McGraw-Hill Companies. 7. painos. 466 s.
- Kennelly, J. J. & Weinberg, Z. G. 2003. Small grain silage. Teoksessa: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Morrison, J.H. (toim.). *Silage Science and Technology*. Wisconsin, USA: American Society of Agronomy. s. 749-780.
- Khalili, H., Mäntysaari, P., Sariola, J. & Kangasniemi, R. 2006. Effect of concentrate feeding strategy on the performance of dairy cows fed total mixed rations. *Agricultural and Food Science* 15: 268-279.

- Khalili, H. & Sairanen, A. 2000. Effect of concentrate type on rumen fermentation and milk production of cows at pasture. *Animal Feed Science and Technology* 84: 199-212.
- Khalili, H., Sairanen, A., Nousiainen, J. & Huhtanen, P. 2005. Effects of silage made from primary or regrowth grass and protein supplementation on dairy cow performance. *Livestock Production Science* 96: 269-278.
- Kidane, A., Øverland, M., Mydland, L. T. & Prestløkken, E. 2018. Milk production of Norwegian Red dairy cows on silages presumed either low or optimal in dietary crude protein content. *Livestock Science* 214: 42-50.
- Kirchgessner, M., Windich, W. & Roth, F. X. 1994. The efficiency of nitrogen conversion in animal nutrition. *Nova Acta Leopoldina* 70: 393-412.
- Kokkonen, T. 2005. Energy and protein nutrition of dairy cows during the dry period and early lactation: Production performance and adaptation from pregnancy to lactation. *Väitöskirja. Helsingin yliopisto, kotieläintieteen laitos*. 56 s.
- Kristensen, V. F. 1992. The production and feeding of whole-crop silages and legumes in Denmark. Teoksessa: Stark, B. A., Wilkinson, J. M. (toim.). *Whole crop cereals*. Chalcombe Publications. s. 21-37.
- Kröber, T. F., Külling, H., Menzi, F., Sutter, F. & Kreuzer, M. 2000. Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and by nitrogen emission from slurry. *Journal of Dairy Science* 83: 2941-2951.
- Kykkänen, S., Hyrkäs, M., Suomela, R., Saarinen, E., Virkajärvi, P. & Huuskonen, A. 2014. Eri viljalajikkeiden satoisuus ja rehuarvo kokoviljasäilörehuksi korjattuna. Teoksessa: Huuskonen, A. (toim.). *Kehitystä naudanlihantuotantoon – loppuraportti*. MTT Raportti 167: 9. Jokioinen, Finland: MTT Kotieläintuotannon tutkimus. s. 9-28.
- Ledgard, S. F., Crush, J. R. & Penno, J. W. 1998. Environmental impacts of different nitrogen inputs on dairy farms and implications for the Resource Management Act of New Zealand. *Environmental Pollution* 102: 515-519.
- Luke. 2018. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. <http://www.luke.fi/rehutaulukot>. Luonnonvarakeskus. Viitattu 31.10.2018.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297-304.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. & Wilkinson, R. G. 2011. *Animal nutrition*. Prentice Hall, UK: Clays Ltd, St Ives plc. 7. painos. 692 s.

- Milano, G. D., Hotston-Moore A. & Loble, G. E. 2000. Influence of hepatic ammonia removal on ureagenesis, amino acid utilization and energy metabolism in the ovine liver. *British Journal of Nutrition* 83: 307-315.
- Muck, R. E. 1982. Urease activity in bovine feces. *Journal of Dairy Science* 65: 2157-2163.
- Mäntysaari, P., Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Virkki, M. 2004. The effect of concentrate crude protein and feeding strategy of total mixed ration on performance of primiparous dairy cows. *Livestock Production Science* 85: 223-233.
- Nousiainen, J., Kytölä, K., Khalili, H. & Huhtanen, P. 2003a. Methods of improving N utilisation through feeding strategies on dairy farms. Teoksessa: Uusi-Kämpä, J., Yli-Halla, M. & Grék, K. (toim.). *Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen*. Maa- ja elintarviketalous 25. Jokioinen, Finland: MTT Agrifood Research Finland. s. 26-39.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003b. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97-111.
- Nyholm, L. 2019. Valio Artturi® -rehuanalyysin tuloksia. <http://www.maitojame.fi/artikkelit/valio-artturi-r-rehuanalyysin-tuloksia/1693397>. Valio Oy. Maito ja me. Viitattu 3.1.2019.
- O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox D. G. & Chalupa, W. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal of Animal Science* 71: 1298-1311.
- Patton, R. A., Hristov, A. N. & Lapierre, H. 2014. Protein feeding and balancing for amino acids in lactating dairy cattle. *Veterinary clinics of North America: Food animal practice* 30: 599-621.
- Phipps, R.H., Sutton, J. D. & Jones, B. A. 1995. Forage mixtures for dairy cows: the effect on dry-matter intake and milk production of incorporating either fermented or urea-treated whole-crop wheat, brewer's grains, fodder beet or maize silage into diets based on grass silage. *Animal Science* 61: 491-496.
- Powell, J. M., Gourley, C. J. P., Rotz, C. A. & Weaver, D. M. 2010. Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy* 13: 217-228.

- Reynolds, C. K., Harmon, D. L. & Cecava, M. J. 1994. Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal-drained viscera. *Journal of Dairy Science* 77: 2787-2808.
- Rinne, M. 2010. Monipuolinen kotovarainen ruokinta: palkokasveja nurmissa, kokoviljasäilörehussa ja väkirehussa hyödyntäen. [https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely/toimipaikat/ruukki/Tietopankki/Naudanlihantuotanto/Artturi\\_palkokasvit\\_naudoille.pdf](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely/toimipaikat/ruukki/Tietopankki/Naudanlihantuotanto/Artturi_palkokasvit_naudoille.pdf). Jokioinen: Kotieläintuotannon tutkimus. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Julkaistu 2010, viitattu 29.3.2019.
- Rinne, M. & Sairanen, S. 2010. Nurmirehut ruokinnassa. Teoksessa: Peltonen, S., Puurunen, T. & Harmoinen, T. (toim.). Nurmirehujen tuotanto ja käyttö. Tieto tuottamaan 132. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1093. s. 16-21.
- Rulquin, H. & Vérité, R. 1996. Amino acid nutrition of dairy cows: productive effects and animal requirements. Teoksessa: Garnsworthy, P. C. & Cole, D. J. A. (toim.). Recent developments in ruminant nutrition. Nottingham, UK: Nottingham University Press. s. 71-93.
- Russell, J. B. & Wallace, R. J. 1997. Energy-yielding and energy-consuming reactions. Teoksessa: Hobson, P. N. & Stewart, C. S. (toim.). The Rumen Microbial Ecosystem. Springer. Dordrecht, Alankomaat: 246-282.
- Salo, M.-L. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 68-45.
- Schwab, C. G. & Broderick, G. A. 2017. A 100-year review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100: 10094-10112.
- Schwab, C. G., Satter, L. D. & Clay, A. B. 1976. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. *Journal of Dairy Science* 7: 1254-1270.
- Shingfield, K. J., Vanhatalo, A. & Huhtanen, P. 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solventextracted soya-bean meal as protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets. *Animal Science* 77: 305-317.
- Sjaunja, J. O., Baevre, L., Junkarinen, L., Pedersen, J. & Setälä, J. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Teoksessa P. Gaillon & Y. Chabert (toim.). Performance Recording of Animals: State of the Art, 1990. PUDOC, Wageningen, Alankomaat: EAAP Publication no. 50: 156-157.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61-68.

- Stern, M. D., Varga, G. A., Clarks, J. H., Firkins, J. L., Huber, J. T. & Palmquist, D. L. 1994. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 77: 2762-2786.
- Suokannas, A., Pehkonen, A., Mäkinen, H., Tuori, M. & Pentti, S. 2003. Kokoviljasäilörehu karjatilalla. *Maa- ja elintarviketalous* 40. Vihti: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 79 s.
- Suomela, R. & Luoma, S. 2014. Kalkitseamalla laadukasta nurmirehua nautakarjalle. Teoksessa: Huuskonen, A. (toim.). Kehitystä naudanlihantuotantoon – loppuraportti. MTT Raportti 167. Jokioinen, Finland: MTT Kotieläintuotannon tutkimus. s. 41-90.
- Sutton, J. D., Abdalla, A. L., Phipps, R. H. Cammell, S. B. & Humphries, D. J. 1997. The effect of the replacement of grass silage by increasing proportions of urea-treated whole-crop wheat on food intake and apparent digestibility and milk production by dairy cows. *Animal Science* 65: 343-351.
- Sutton, J. D., Phipps, R. H., Deaville, E. R., Jones, A. K. & Humphries, D. J. 2002. Whole-crop wheat for dairy cows: Effects of crop maturity, a silage inoculant and an enzyme added before feeding on food intake and digestibility and milk production. *Animal Science* 74: 307-318.
- Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science* 75: 345-357.
- Titgemeyer, E. C. 1997. Design and interpretation of nutrient digestion studies. *Journal of Animal Science* 75: 2235-2247.
- Tomlinson, A. P., Powers W. J., Van Horn H. H., Nordstedt R. A. & Wilcox, C. J. 1996. Dietary protein effects on nitrogen excretion and manure characteristics of lactating cows. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39: 1441-1448.
- Turkki, A. 2000. Liikkeenjohtamisen merkitys maitotiloilla. Teoksessa, Marttila, J. & Ahlstedt, J. (toim.). Maataloustieteen päivät 2000: Talous ja teknologia. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja 94: 161-171.
- Valio Artturi. 2018. Rehuanalyysi-palvelu. <http://valma.valio.fi/palvelut/>. Seinäjoki: Valio Oy Aluelaboratorio. Päivitetty 2018, viitattu 22.11.2018.
- Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., & Varvikko, T. 1999. Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. *Journal of Dairy Science* 82: 2674-2685.
- Vanhatalo, A., Jaakkola, S., Rauramaa, A., Nousiainen, J. & Tommila, A. 1999. Additives in ensiling whole crop barley. Uppsala, Sweden: The XIIth International Silage Conference. s. 121-122.

- Vanhatalo, A., Pahkala, E., Salo-Väänänen, P., Korhonen, H., Piironen, V. & Huhtanen, P. 2003. Rapeseed and soybean as protein supplements of dairy cows fed grass silage based diets. Teoksessa: Sorensen, H., Sorensen, J. C., Sorensen, S., Muguerzas, N. B. Bjerregaard, C. (toim.). Rapeseed Congress: The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen, Denmark. s. 1238-1240.
- Vanhatalo, A., Varvikko, T. & Huhtanen, P. 2003. Effects of casein and glucose on responses of cows fed diets based on restrictively fermented grass silage. *Journal of Dairy Science* 86: 3260-3270.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca, New York, USA: Cornell University Press. 2. painos. 476 s.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3588-3597.
- Virtanen, H. & Nousiainen, J. 2005. Nitrogen and phosphorus balances on Finnish dairy farms. *Agricultural and Food Science* 14: 166-180.
- Walker, N.D., Newbold, C. J. & Wallace, R. J. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. Teoksessa: Pfeffer, E. & Hristov, A. N. (toim.). Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: Reducing the environmental impact of cattle operations. CAB International. Wallingford, UK. s. 71-115.
- Wallsten, J. & Martinsson, K. 2009. Effects of maturity stage and feeding strategy of whole crop barley silage on intake, digestibility and milk production in dairy cows. *Livestock Science* 121: 155-161.